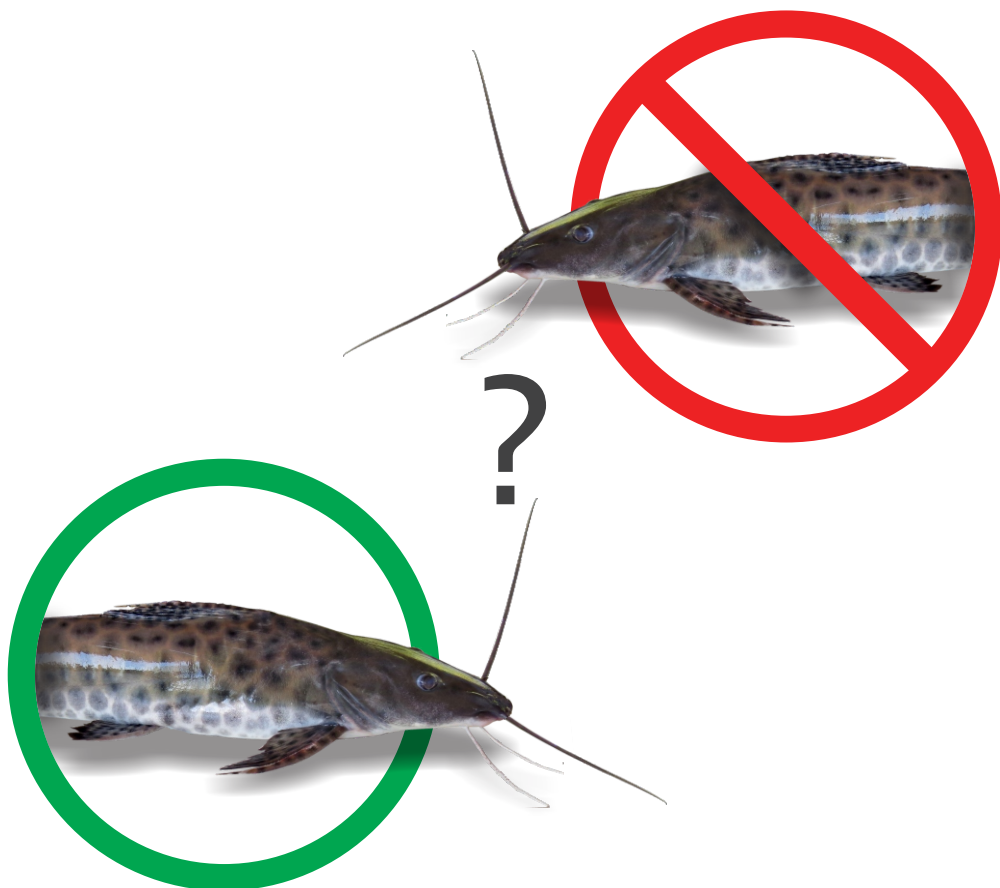


## Riscos genéticos da produção de híbridos de peixes nativos





ISSN 2318-1400

Novembro, 2014

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Pesca e Aquicultura  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

## ***Documentos 3***

# **Riscos Genéticos da Produção de Híbridos de Peixes Nativos**

*Anderson Luis Alves  
Eduardo Sousa Varela  
Giovanni Vitti Moro  
Luciana Nakaghi Ganeco Kirschnik*

***Embrapa Pesca e Aquicultura***

*Palmas, TO*

***2014***

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Pesca e Aquicultura**

Quadra 104 Sul, Av. LO 1, N. 34, Conj. 4, 1º e 2º pavimentos

CEP: 77020-020, Palmas, Tocantins, Brasil

Fone: (63) 3229.7800/ 3229.7850

[www.embrapa.br/pesca-e-aquicultura](http://www.embrapa.br/pesca-e-aquicultura)

**Comitê Local de Publicações**

Presidente: *Eric Arthur Bastos Routledge*

Secretário-Executivo: *Renata Melon Barroso*

Membros: *Alexandre Aires de Freitas, Alisson Moura Santos, Andrea*

*Elena Pizarro Munoz, Milena Santos de Pinho, Giovanni Vitti Moro*

*Hellen Kato, Jefferson Cristiano Christofolletti, Marcelo Könsgen*

*Cunha e Marta Eichemberger Ummus.*

Diagramação: *Juliano Daudt Fontoura*

Foto(s): Jefferson Christofolletti, Giovanni Moro, Thiago Tardivo,

Unesp, Eduardo Varela, Anderson Alves.

**1ª edição**

**Todos os direitos reservados**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa Pesca e Aquicultura

---

Alves, Anderson Luis

Riscos Genéticos da Produção de Híbridos de Peixes Nativos/ Anderson Luis Alves – Palmas : Embrapa Pesca e Aquicultura, 2014.

60 p. : il. color. (Documentos / Embrapa Pesca e Aquicultura, ISSN 2318-1400; 3 ).

1.Genética. 2. Aquicultura. 3. Piscicultura. I. Alves, Anderson Luis. II. Varela, Eduardo Sousa. III. Moro, Giovanni Vitti. IV. Kirschnik, Luciana Nakaghi Ganeco. V.Série.

CDD 664.94

# **Autores**

## **Anderson Luis Alves**

Biólogo, Dr. em Genética  
Pesquisador da Embrapa Pesca e Aquicultura  
anderson.alves@embrapa.br

## **Eduardo Sousa Varela**

Biólogo, Dr. em Genética Molecular  
Pesquisador da Embrapa Pesca e Aquicultura  
eduardo.varela@embrapa.br

## **Giovanni Vitti Moro**

Agrônomo, Dr. em Ciência Animal  
Pesquisador da Embrapa Pesca e Aquicultura  
giovanni.moro@embrapa.br

## **Luciana Nakaghi Ganeco Kirschnik**

Zootecnista, Dra. em Aquicultura  
Pesquisadora da Embrapa Pesca e Aquicultura  
luciana.ganeco@embrapa.br



# **Apresentação**

A produção de peixes nativos e seus híbridos chama a atenção daqueles que observam o Brasil como alvo de investimentos agropecuários e futura potência da aquicultura mundial. Dada a competitividade e dinamismo, o mercado aquícola nacional tem motivado a produção de híbridos em maior escala nos últimos anos, buscando neles características favoráveis de ganho de peso, resistência ao frio, rusticidade e adaptação à alimentação artificial. Por outro lado, a mistura de animais híbridos sobre as linhagens puras e o seu escape inadvertido para os ambientes naturais certamente expõe a sustentabilidade da aquicultura. Sendo assim, este documento buscou reunir informações sobre a produção, impacto genético, riscos e desafios do cultivo de híbridos frente ao desafio de equilibrar a conservação da biodiversidade com a produção sustentável de alimentos.





# Sumário

<b>Introdução.....</b>	<b>9</b>
<b>Ictiofauna Neotropical .....</b>	<b>13</b>
<b>Espécies nativas utilizadas na piscicultura.....</b>	<b>15</b>
<b>Produção de híbridos interespecíficos no Brasil.....</b>	<b>21</b>
<b>Impacto da produção de híbridos .....</b>	<b>28</b>
Híbridos nos estoques pesqueiros e na piscicultura .....	30
Impacto genético da hibridação: introgressão.....	37
Riscos e desafios .....	46
<b>Considerações finais .....</b>	<b>47</b>
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>48</b>



# Riscos Genéticos da Produção de Híbridos de Peixes Nativos

---

*Anderson Luís Alves*

*Eduardo Sousa Varela*

*Giovanni Vitti Moro*

*Luciana Nakaghi Ganeco Kirschnik*

## Introdução

Dois terços do nosso planeta são cobertos por água e grande parte destes ambientes fornece suporte para a vida dos peixes, que correspondem cerca de 50% dos vertebrados (NELSON, 2006). Os peixes apresentam uma considerável capacidade de adaptação biológica a diversos tipos de habitat, com grande variedade ambiental, espacial e temporal. Neste processo podemos observar as mais impressionantes especializações de morfologia, fisiologia e comportamento (PURDOM, 1993). Estes fatores biológicos já seriam suficientes para a realização de estudos em peixes, abordando diferentes aspectos de sua vida. Além disso, os peixes possuem elevada importância para a sobrevivência do homem, na forma de alimentos e na geração de renda. Porém, o impacto crescente que vem sendo gerado de diversos modos sobre o ambiente aquático, evidenciado principalmente pela poluição química, pela construção de barragens, pela pesca excessiva e recentemente pela produção e escape de híbridos tem aumentado a pressão sobre estes animais. Nesse sentido, o conhecimento detalhado de aspectos da biologia e genética dos peixes torna-se uma condição fundamental para a exploração e o manejo racional dos estoques pesqueiros e para a conservação da ictiofauna Neotropical (CASTRO; MENEZES, 1998).

Entre as causas de ameaças à biodiversidade, a hibridação surge como uma das principais, e embora represente um fenômeno natural, esta prática é amplamente adotada na produção agropecuária, tanto em animais como em plantas cultivadas (SCHANK et al., 1993; MEDINA et al., 1993; MADALENA, 2002). A hibridação é um fenômeno definido como o cruzamento de indivíduos ou grupos geneticamente diferentes podendo envolver tanto o cruzamento entre linhagens dentro de uma mesma espécie, híbridos intraespecífico, quanto entre indivíduos de espécies distintas, híbridos interespecíficos (BARTLEY et al., 2001).

Na natureza a hibridação interespecífica ocorre entre 6 a 10% das espécies animais (MALLET, 2005) gerando normalmente um híbrido ineficiente do ponto de vista reprodutivo, ecológico, bioquímico, fisiológico ou comportamental (HELFMAN et al., 2009).

No entanto, há evidências da ocorrência de híbridos interespecíficos de peixes na natureza, seja em zonas de hibridização como barreira de contato entre espécies ou em quebra de barreiras ambientais entre espécies isoladas podendo causar inclusive a extinção local das espécies puras (DOWLING; SECOR, 1997; WILLIS et al., 2012; MIRIMIN et al., 2014). Desse modo, a hibridação natural é considerada um fenômeno importante para a evolução dos organismos, pela possibilidade de surgimento de genótipos que poderiam estabelecer novas linhagens evolutivas (ARNOLD; HODGES, 1995).

Nos peixes, a hibridação natural ocorre com mais frequência do que em outros grupos de vertebrados (SCRIBNER et al., 2001), sendo mais comum em peixes de água doce do que marinhos (EPIFANIO; NIELSEN, 2001). Alguns dos fatores que contribuem para esta maior incidência em peixes incluem: fertilização externa, competição por habitat de desova e desproporção na relação de sexo de suas espécies parentais (SCRIBNER et al., 2001).

Por outro lado, a hibridação em peixes pela intervenção humana tem sido objeto de estudo de muitos cientistas desde o século 19, com resultados de viabilidade do híbrido nos salmonídeos (salmão versus

truta), ciprinídeos e tilápia(DAY, 1882; CHEVASSUS, 1979; BARTLEY et al., 2001). Desde então, a hibridação interespecífica em peixes é uma das técnicas mais utilizadas na aquicultura mundial visando o aumento da produção de alimentos, aquariofilia e pesca recreativa (SCRIBNER et al., 2001).

Os indivíduos híbridos são tipicamente diferentes em alguns aspectos de sua biologia, o que pode expressar melhor desempenho do que a média dos parentais, fenômeno conhecido como vigor híbrido ou heterose (BARTLEY et al., 2001; HELFMAN et al., 2009). A hibridação pode transferir características desejáveis tais como maior taxa de crescimento, diminuição da exigência nutricional, resistência a doenças, maior qualidade de carne, comportamento menos agressivo, redução de canibalismo em formas jovens, obtenção de populações monosexo sem a utilização de hormônios, bem como a obtenção de indivíduos com maior aptidão ao manejo produtivo (TOLEDO-FILHO; ALMEIDA-TOLEDO, 1998; BARTLEY et al., 2001).

Do ponto de vista ambiental, os peixes híbridos interespecíficos produzidos artificialmente são considerados espécies exóticas, ou seja, de ocorrência fora da sua área de distribuição natural, e esses animais são introduzidos intencionalmente ou acidentalmente em outros ambientes ou bacias hidrográficas (SHAFLAND; LEWIS, 1984). Os casos de introdução de espécies exóticas ou híbridos tem o objetivo de aumentar a produção local sem que haja consciência do uso destas espécies fora de sua área original e sem os cuidados necessários para os riscos futuros, o fato é que visando o aumento da produtividade as espécies exóticas e/ou híbridas têm sido amplamente distribuídas e a economia de muitos países depende de sua produção (SHELTON; ROTHBARD, 2010).

Nesse contexto, as espécies exóticas tem contribuído em pelo menos 17% na produção global aquícola, em especial os híbridos com participação importante nessa produção (SHELTON; ROTHBARD, 2010; RAHMAN et al., 2013). No entanto, os dados estatísticos de produção gerado pelo MPA até 2011 não apontavam a produção específica de

híbridos de peixes nativos, estes eram alocados erroneamente como uma das espécies parentais. Em geral, a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), por dificuldades em sistematizar a nomenclatura dos híbridos, reconhece apenas quatro espécies de híbridos entre os peixes de água doce (FAO, 2014) e categoriza as demais ocorrências de híbridos como “NEI” (Not Else where Included), ou seja, peixes não identificados como espécies válidas (BARTLEY et al., 2001).

Mesmo não sendo identificados ou reconhecidos, os híbridos representam elevada produção mundial, por exemplo, entre as diversas linhagens de tilápia produzidas, a “tilápia nei” contribuiu, em 2012, com 883 mil toneladas na indústria aquícola (FAO, 2014) e ainda representa a maior parte da produção de tilápia de Israel. Em outras espécies também é comum, como nos bagres híbridos produzidos na Tailândia que representam 80% da produção (BARTLEY et al., 1997), ou no híbrido do robalo “stripedbass” com o “whitebass” que é a quinta espécie de peixe mais produzida nos Estados Unidos, responsável pela produção de 4,5 mil toneladas anuais (LOUGHEED; NELSON, 2004). Na América do Sul esta realidade também é alarmante, a produção de híbridos na Venezuela é considerável, especialmente com a criação da “tambatinga”, híbrido resultante do tambaqui (*Colossomama cropomum*) com a pirapitinga (*Piaractus brachypomus*), satisfazendo 29% da produção no país (FAO, 2005).

No Brasil a produção aquícola alcançou em 2012 um volume de 707 mil toneladas de pescado, representando 22,2% do continente americano, inferior apenas a produção do Chile (FAO, 2014). Desse montante, pelo menos 12% são reflexo da produção dos híbridos, “tambacu” e “tambatinga” (MPA, 2011). Além disso, a maioria parte da produção (8.800 t) de pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*), destacado na estatística do MPA, está representada pelos híbridos interespecíficos entre pintado com o jundiá da Amazônia (*Leiarius marmoratus*) ou pintado e a cachara (*Pseudoplatystoma reticulatum*). Além das dificuldades em categorizar os diversos tipos de híbridos produzidos, a aquicultura continental brasileira é essencialmente extensiva, amplamente distribuída, valendo ainda concluir que a produção de híbridos no Brasil sobressalta as estatísticas oficiais.

Pela legislação brasileira, o conceito de espécies nativas, exóticas e/ou seus híbridos é geopolítico, considerando essencialmente a ocorrência delas nas diversas bacias hidrográficas (IBAMA, 1998). Em consequência, ocorre uma percepção equivocada na aceitação de produzir e povoar essas espécies em águas brasileiras. Em outras palavras, a sociedade aceita produzir a espécie amazônica, tambaqui, nas águas do Nordeste, mas tem dificuldades em legitimar a produção da tilápia Africana em águas amazônicas. Além disso, as várias espécies nativas de surubins, tucunarés e ornamentais endêmicos são amplamente translocados e povoados no Brasil, sendo que do ponto de vista ecológico, todos esses exemplos têm a mesma condição de bioinvasão.

A produção de espécies exóticas e híbridas chama a atenção daqueles que observam o Brasil como alvo de investimentos agropecuários e futura potência da aquicultura (LOPES, 2014), por outro lado, do ponto de vista ecológico, a aquicultura brasileira é considerada um potencial vetor de bioinvasão, em ameaça a rica biodiversidade de peixes Neotropicais (SOUZA et al., 2009). Nesse sentido, é preciso intensificar as discussões a fim de transformar o provável paradoxo da aquicultura e biodiversidade em caminhos sinérgicos na produção sustentável de alimentos.

## **Ictiofauna Neotropical**

A ictiofauna Neotropical corresponde a 25% de todas as espécies de peixes do mundo, com cerca de 8 mil espécies conhecidas, sendo que as estimativas sugerem cerca de 13 mil devido à presença de vários complexos de espécies que fazem com que a diversidade de peixes, em especial os de água doce, seja subestimada (SCHAEFER, 1998; VARI; MALABARBA, 1998; REIS et al., 2003). Entre estes peixes destacam-se os representantes da super Ordem Ostariophysi que representam cerca de 70% dessa fauna (REIS et al., 2003).

De acordo com BUCKUP et al. (2007), se considerarmos apenas as bacias hidrográficas no Brasil, são conhecidas aproximadamente 2.600 espécies, sendo reconhecido um alto número de espécies ainda não descritas. Este número tende a aumentar, pois as amostragens ainda são insuficientes e muitas áreas permanecem inexploradas, como o Alto rio Paraná até recentemente (LANGEANI et al., 2007).

Além disso, o padrão de distribuição geográfica das espécies de peixes neotropicais se mostra complexo, com espécies amplamente distribuídas (ex. *Leporinus friderici*, *Prochilodus lineatus*, *Zungaro zungaro*, *Rhamdia quelen*) sendo encontradas em diferentes bacias hidrográficas, enquanto outras são endêmicas e com distribuição geográfica restrita (ex. *Salminus franciscanus*, *Steindachneridion parahybae*).

O reconhecimento da identificação taxonômica ainda se mostra uma tarefa difícil em alguns grupos de peixes, principalmente aqueles de pequeno porte, ou peixes de riacho, neste grupo se encontram a maior subestimativa do número da ictiofauna neotropical devido à dificuldade de reconhecer caracteres diagnósticos para espécies filogeneticamente relacionadas e distingui-las das variações morfológicas populacionais. De modo geral, a taxonomia das espécies de grande porte ou espécies migradoras se mostra mais resolvida, e normalmente as revisões taxonômicas apontam para a ocorrência de espécies por bacias hidrográficas, assim como nos gêneros *Pseudoplatystoma*, *Salminus*, *Piaractus* entre outras. As espécies de grande porte são também as mais utilizadas na piscicultura e conseqüentemente as que possuem maiores riscos ambientais, seja pela ação direta da piscicultura (tanque-rede ou escavado) ou mesmo pelos eventos de introdução de nativas e exóticas.



## **Espécies nativas utilizadas na piscicultura**

A aquicultura mundial tem utilizado amplamente a diversidade de espécies nativas com cerca de 310 espécies produtivas de acordo com a FAO, no entanto, apenas 20 espécies representam pelo menos 74% da produção global (BOSTOCK et al., 2010). Os ciprinídeos asiáticos (carpa capim, prateada, Rohu, Catla, etc), a tilápia africana e os salmonídeos europeus, na condição de espécies nativas, contribuem substancialmente por essa produção (SHELTON; ROTHBARD, 2010). O sucesso e aceitação de mercado levaram a translocação e a produção dessas espécies no mundo e atualmente a produção de espécies exóticas garantem pelo menos 17% da produção de peixes no mundo (SHELTON; ROTHBARD, 2010; RAHMAN et al., 2013). Na América do Sul, existe uma contribuição expressiva dessas espécies exóticas contra a produção de espécies nativas em cada país ameríndio.

A piscicultura brasileira se caracteriza pela grande diversidade de espécies nativas de peixes de água doce, sendo a maioria endêmica nas principais bacias hidrográficas como Amazônica, Paraná-Paraguai, São Francisco, Araguaia-Tocantins e nos rios costeiros da bacia do Leste e Sudeste, em especial Ribeira de Iguape e Paraíba do Sul (Tabela 1).

Em recentes edições dos livros “Espécies nativas para piscicultura no Brasil” (BALDISSEROTTO; GOMES, 2010) e “Piscicultura de água doce: multiplicando conhecimentos” (MORO et al, in Rodrigues e col., 2013), compilaram as informações das principais espécies produzidas no país e indicam listas contendo informações sobre reprodução, manejo e aspectos nutricionais de diversas espécies. A partir destas informações e com a inclusão de outras espécies elaboramos uma lista das espécies distribuídas por bacia hidrográfica, que ressalta o potencial delas para a piscicultura no Brasil (Tabela 1). As bacias Amazônica e do Prata (Paraná-Paraguai-Uruguai) que possuem a maior diversidade também são aquelas que apresentam maior números de espécies endêmicas, e/ou alóctones sendo utilizadas na piscicultura, mesmo que em baixa escala. Porém as bacias com menores número de espécies, mas

reconhecido endemismo, como São Francisco e Paraíba do Sul também apresentam importante papel na piscicultura regional (Tabela 1). Dois grupos de espécies se destacam: os peixes da ordem Characiformes (dourado, pacu, tambaqui, matrinxã) e Siluriformes (surubins, pintado, cacharas e jundiás), em especial das famílias Characidae e Pimelodidae, respectivamente. Cerca de 70% das espécies produzidas no Brasil pertencem a estas duas famílias correspondendo 32% da produção nacional.

**Tabela 1.** Lista das espécies de peixes água doce nativas do Brasil utilizadas em piscicultura distribuídas por bacia hidrográfica de origem.

Bacia Hidrográfica	Ordem/Família	Nome popular	Nome científico
Amazônica	Osteoglossiformes/ Arapaimidae	Pirarucu	<i>Arapaima gigas</i>
	Characiformes/ Prochilodontidae	Curimatã	<i>Prochilodus nigricans</i>
	Characiformes/ Anostomidae	Piava	<i>Leporinus friderici</i>
	Characiformes/ Characidae	Matrinxã	<i>Brycon amazonicus</i>
	Characiformes/ Serrasalminidae	Tambaqui	<i>Colossoma macropomum</i>
	Characiformes/ Characidae	Tabarana	<i>Salminus icquitenensis</i>
	Characiformes/ Serrasalminidae	Caranha	<i>Piaractus brachypomus</i>
	Characiformes/ Erythrinidae	Trairão	<i>Hoplias lacerdae</i>
	Siluriformes/ Pimelodidae	Jundiá amazônico	<i>Leiarius marmuratus</i>
	Siluriformes/ Pimelodidae	Cachara	<i>Pseudoplatystoma punctifer</i>
	Siluriformes/ Pimelodidae	Surubim	<i>P. tigrinum</i>

Amazônica	Siluriformes/ Pimelodidade	Pirarara	<i>Phractocephalus hemioliop- terus</i>
	Siluriformes/ Pimelodidae	Jaú	<i>Zungaro jahu</i>
	Siluriformes/ Pimelodidae	Piraiba, filhote	<i>Brachyplatystoma filamen- tosum</i>
	Siluriformes/ Pimelodidae	Dourada	<i>B. rousseauxii</i>
	Siluriformes/ Pimelodidae	Jurupoca	<i>Hemiosorubim platyrhyn- chos</i>
	Perciformes/ Cichlidae	Tucunaré- amarelo	<i>Cichla ocellaris</i>
	Perciformes/ Cichlidae	Tucunaré	<i>C. monoculus</i>
	Perciformes/ Cichlidae	Tucunaré- açu	<i>C. temensis</i>
	Perciformes/ Cichlidae	Apaiari	<i>Astronotus ocellatus</i>
	Perciformes/ Cichlidae	Acará- bandeira	<i>Pterophylum scalare</i>
	Perciformes/ Sciaenidae	Curvina	<i>Plagioscion squamosissi- mus</i>
	Tetraodontiformes/ Tetraodontidae	Baiacu	<i>Colomesus asellus</i>
	Pleuronectiformes/ Achiridae	Linguado	<i>Hypoclinemus mentalis</i>
Araguaia-Tocantins	Osteoglossiformes/ Arapaimidae	Pirarucu	<i>Arapaima gigas</i>
	Characiformes/ Prochilodontidae	Curimatã	<i>Prochilodusnigricans</i>
	Characiformes/ Anostomidae	Piava	<i>Leporinus friderici</i>
	Characiformes/ Characidae	Matrinxã	<i>Brycon gouldingi</i>
	Characiformes/ Serrasalminidae	Caranha	<i>Piaractus brachypomus</i>
	Characiformes/ Characidae	Tabarana	<i>Salminus icquitensis</i>

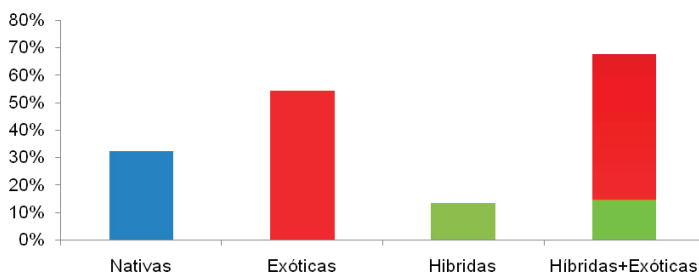
Araguaia-Tocantins	Characiformes/ Erythrinidae	Trairão	<i>Hoplias lacerdae</i>
	Siluriformes/ Pimelodidae	Cachara	<i>Pseudoplatystoma punctifer</i>
	Siluriformes/ Pimelodidae	Pirarara	<i>Phractocephalus hemioliopus</i>
	Siluriformes/ Pimelodidae	Jaú	<i>Zungaro jahu</i>
	Siluriformes/ Pimelodidae	Piraiba, filhote	<i>Brachyplatystoma filamentosum</i>
	Perciformes/ Sciaenidae	Curvina	<i>Plagioscion squamosissimus</i>
	Perciformes/ Cichlidae	Tucunaré	<i>Cichla kelberi</i>
	Perciformes/ Cichlidae	Tucunaré	<i>Piquiti</i>
	Tetraodontiformes/ Tetraodontidae	Baiacu	<i>Colomesus asellus</i>
	Pleuronectiformes/ Achiidae	Linguado	<i>Hypoclinemus mentalis</i>
Paraná	Characiformes/ Prochilodontidae	Curimbatá	<i>Prochilodus lineatus</i>
	Characiformes/ Anostomidae	Piapara	<i>Leporinus elongatus</i>
	Characiformes/ Anostomidae	Piaú	<i>L. obtusidens</i>
	Characiformes/ Anostomidae	Piauçu	<i>L. macrocephalus</i>
	Characiformes/ Anostomidae	Piava	<i>L. friderici</i>
	Characiformes/ Characidae	Lambari	<i>Astyanax altiparanae</i>
	Characiformes/ Characidae	Piracanjuba	<i>Brycon orbignyanus</i>
	Characiformes/ Characidae	Tabarana	<i>Salminus hilarii</i>
	Characiformes/ Characidae	Dourado	<i>S. brasiliensis</i>

Paraná	Characiformes/ Serrasalminidae	Pacu	<i>Piaractus mesopotamicus</i>
	Characiformes/ Erythrinidae	Trairão	<i>Hoplias lacerdae</i>
	Characiformes/ Erythrinidae	Traira	<i>H. malabaricus</i>
	Siluriformes/ Pimelodidae	Cachara	<i>Pseudoplatystoma reticulatum</i>
	Siluriformes/ Pimelodidae	Pintado	<i>P. corruscans</i>
	Siluriformes/ Pimelodidae	Jaú	<i>Zungaro zungaro</i>
	Siluriformes/ Pimelodidae	Surubim	<i>Steindachneridion scriptum</i>
	Siluriformes/ Pimelodidae	Surubim Iguaçu	<i>S. melanodermatum</i>
	Siluriformes/ Heptapteridae	Jundiá	<i>Rhamdia quelen</i>
Paraguai	Characiformes/ Prochilodontidae	Curimbatá	<i>Prochilodus lineatus</i>
	Characiformes/ Anostomidae	Piapara	<i>Leporinus elongatus</i>
	Characiformes/ Anostomidae	Piauçu	<i>L. macrocephalus</i>
	Characiformes/ Anostomidae	Piava	<i>L. friderici</i>
	Characiformes/ Characidae	Dourado	<i>Salminus brasiliensis</i>
	Characiformes/ Serrasalminidae	Pacu	<i>Piaractus mesopotamicus</i>
	Characiformes/ Erythrinidae	Trairão	<i>Hoplias lacerdae</i>
	Siluriformes/ Pimelodidae	Cachara	<i>Pseudoplatystoma reticulatum</i>
	Siluriformes/ Pimelodidae	Pintado	<i>P. corruscans</i>
	Siluriformes/ Pimelodidae	Jaú	<i>Zungaro zungaro</i>

Uruguai	Characiformes/ Prochilodontidae	Curimbatá	<i>Prochilodus lineatus</i>
	Characiformes/ Anostomidae	Piau	<i>Leporinus elongatus</i>
	Characiformes/ Anostomidae	Piapara	<i>L. obtusidens</i>
	Characiformes/ Characidae	Piracanjuba	<i>Bryconobrycon bignyanus</i>
	Characiformes/ Characidae	Dourado	<i>Salminus brasiliensis</i>
	Characiformes/ Serrasalminidae	Pacu	<i>Piaractus mesopotamicus</i>
	Characiformes/ Erythrinidae	Traira	<i>Hoplias malabaricus</i>
	Siluriformes/ Pimelodidae	Pintado	<i>Pseudoplatystoma corruscans</i>
	Siluriformes/ Pimelodidae	Surubim	<i>Steindachneridion scriptum</i>
	Siluriformes/ Pimelodidae	Jaú	<i>Zungaro zungaro</i>
	Siluriformes/ Pimelodidae	Mandi	<i>Pimelodus maculatus</i>
	Siluriformes/ Heptapteridae	Jundiá	<i>Rhamdia quelen</i>
São Francisco	Characiformes/ Prochilodontidae	Curimbatá	<i>Prochilodus argenteus</i>
	Characiformes/ Anostomidae	Piau	<i>Leporinus friderici</i>
	Characiformes/ Characidae	Tabarana	<i>Salminus hilarii</i>
	Characiformes/ Characidae	Dourado	<i>S. franciscanus</i>
Atlântico Leste Rio Paraíba do Sul	Characiformes/ Characidae	Pirapitinga do sul	<i>Brycon opalinus</i>
	Characiformes/ Characidae	Piabanha	<i>B. insignis</i>

Atlântico Leste Rio Paraíba do Sul	Characiformes/ Anostomidae	Piava- bicuda	<i>Leporinus conirostris</i>
	Siluriformes/ Pimelodidae	Surubim	<i>Steindachneridion parahybae</i>

Apesar de o Brasil possuir um potencial enorme em relação ao número de espécies de peixes nativos de água doce e utilizar apenas cerca de 1% para aquicultura, 54% da produção nacional é resultado do uso de espécies exóticas (tilápia, carpa e truta) tecnologicamente avançadas e de ampla aceitação no mercado (Figura 1). Adicionalmente, a produção de híbridos utilizando espécies nativas introduzidas nas bacias hidrográficas brasileiras vem se destacando pela sua aceitação no setor de engorda, competitividade e liberação legal em alguns estados por meio de legislações específicas (AMAPÁ, Lei 0066/09-AL de 2009; MATO GROSSO, Lei 8464 de 2006; SÃO PAULO, Lei 60582 de 2014).



**Figura 1.** Produção de espécies nativas, exóticas e híbridas na piscicultura brasileira (MPA, 2011).

## Produção de híbridos interespecíficos no Brasil

O interesse na produção de híbridos está em obter indivíduos que apresentem características zootécnicas favoráveis de cada espécie parental, em geral ligada ao crescimento e manejo (BARTLEY et al., 2001). O resultado esperado é chamado de vigor híbrido ou heterose,

no entanto, em alguns cruzamentos a heterose almejada pode não ser alcançada com sucesso (GODINHO, 2007) e por isso ainda são poucos os híbridos produzidos em escala no Brasil (TABELA 2).

A prática de hibridação em peixes de água doce se tornou uma atividade comum na piscicultura brasileira, porém esta prática teve início na década de 70 com o cruzamento entre linhagens e espécies de tilápias, realizada no Departamento de Obras Contra a Seca (DNOCS) por TOLEDO-FILHO et al., (1998). Posteriormente, BERNANDINO et al. (1986), do Centro de Pesquisa de Peixes Continentais (CEPTA, Pirassununga-SP) e CASTAGNOLLI e ROSA (1990) do Centro de Aquicultura da Universidade Estadual Paulista (CAUNESP – Jaboticabal-SP), relataram a produção de “tambacu”, híbrido pela fecundação de ovócitos de tambaqui (*Colossoma macropomum*) e sêmen de pacu (*Piaractus mesopotamicus*) e também a produção de “paqui” obtido com machos e fêmeas opostos ao do primeiro cruzamento. Já a origem do híbrido de tambaqui com pirapitinga, a “tambatinga”, ocorreu no DNOCS, quando demonstraram resultados satisfatórios de duas toneladas/ha/ano e taxas de sobrevivência de 81% (PINHEIRO et al., 1991). A Figura 2 exemplifica os principais cruzamentos que seriam os híbridos de peixes redondos mais produzidos na piscicultura.

Atualmente, essa atividade se expande rapidamente e há relatos de 17 híbridos produzidos a partir de 12 espécies parentais, todas pertencentes às ordens Siluriformes e Characiformes (PORTO-FOREST et al., 2010; MORO et al., 2013). Por outro lado, a maioria dos híbridos não são viáveis, principalmente por não atingirem o vigor híbrido esperado. A Tabela 02 destaca os seis híbridos amplamente utilizados na piscicultura e suas características de interesse: o “tambacu”, a “tambatinga”, a “cachapinta”, o “pintachara” ou “ponto e vírgula”, o “jundiara” ou “pintado da amazônia” e o “pintadiá”.



**Tabela 2.** Híbridos efetivamente produzidos no Brasil a partir de espécies de peixes de água doce utilizadas como parentais.

Parental fêmea	Parental macho	Híbrido*	Característica de interesse
Tambaqui <i>Colossoma macropomum</i>	Pacu <i>Piaractus mesopotamicus</i>	"Tambacu"	Maior resistência a baixas temperaturas da água, rusticidade, rápido crescimento
Tambaqui <i>Colossoma macropomum</i>	Pirapitinga ou Caranha <i>Piaractus brachyomus</i>	"Tambatinga"	Rápido crescimento, maior eficiência na filtração de plâncton e mais ciclos reprodutivos por ano
Cachara <i>Pseudoplatystoma reticulatum</i>	Pintado <i>Pseudoplatystoma coruscans</i>	"Cachapinta" "ponto e vírgula"	Manejo reprodutivo, rusticidade e taxa de crescimento
Pintado <i>Pseudoplatystoma coruscans</i>	Cachara <i>Pseudoplatystoma reticulatum</i>	"Pintachara" "ponto e vírgula"	Manejo reprodutivo, rusticidade e taxa de crescimento
Cachara <i>Pseudoplatystoma punctifer</i>	Jundiá da amazônia <i>Leiarius marmoratus</i>	"jundiara", "pintado da amazônia"	Manejo alimentar (omnívoros), menor, predação de larvas
Pintado <i>Pseudoplatystoma coruscans</i>	Jundiá da amazônia <i>Leiarius marmoratus</i>	"pintadiá"	Manejo alimentar (omnívoros), menor predação de larvas

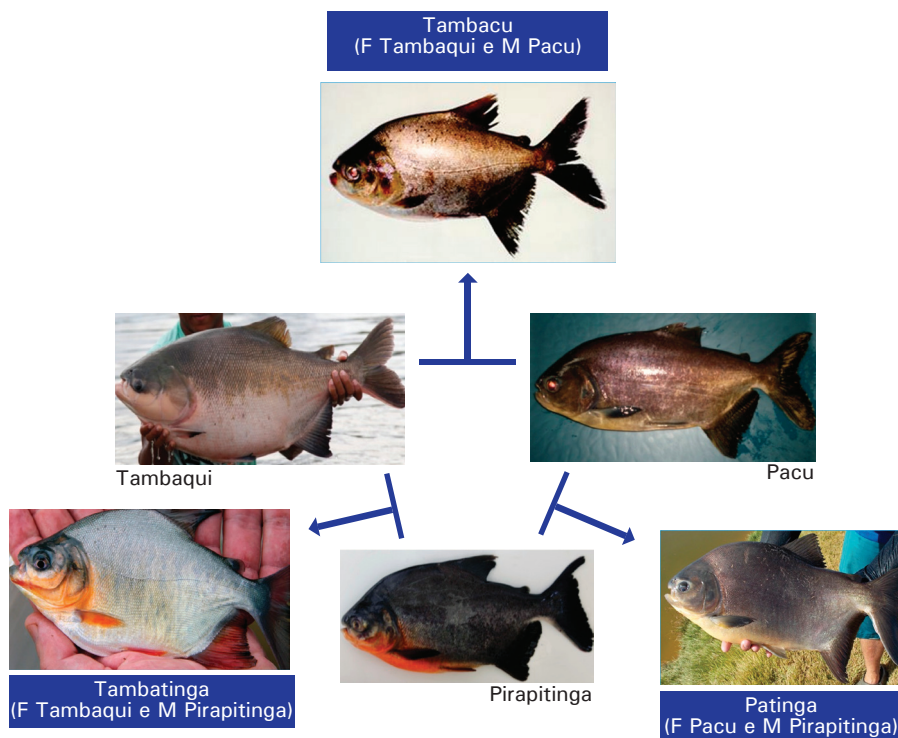
\* Os nomes dos híbridos são indicados usando parte dos nomes populares do primeiro parental (fêmea) mais o segundo parental (macho).

Dentre os híbridos produzidos com peixes Characiformes (Figura 2), o "tambacu" apresenta uma combinação de resistência a baixas temperaturas e rusticidade do pacu com o crescimento rápido do tambaqui, além de apresentar rastros branquiais alongados, que permitem a filtração de plâncton e também apresentam maior sobrevivência, crescimento e uniformidade (SENHORINI et al., 1988, ARAUJO-LIMA et al., 2005; DAIRIKI, J. K.; SILVA, 2011; MORO et al., 2013). Essas características zootécnicas de interesse juntamente com o manejo adequado representam um bom exemplo de sucesso na

obtenção do vigor híbrido e fizeram com que o “tambacu” se tornasse o principal híbrido produzido no Brasil (MPA, 2011), sendo facilmente encontrado em supermercados e peixarias em especial nas regiões sudeste, centro-oeste e sul.

O “tambacu” representa também a primeira produção de híbridos interespecíficos de peixes nativos que envolvem matrizes de bacias hidrográficas distintas, o tambaqui (*C. macropomum*) endêmico da bacia Amazônica, e o pacu (*P. mesopotamicus*), endêmico da bacia do Prata (rio Paraguai-Paraná-Uruguai). Outro importante híbrido entre os redondos é a “tambatinga”, obtido pelo cruzamento entre fêmea de tambaqui e macho de pirapitinga (*P. brachypomus*) (Tabela 2). Apresentam rastros branquiais mais desenvolvidos que o parental pirapitinga, o que confere maior eficiência na filtração de plâncton (ALENCAR, 2013), além de apresentar crescimento rápido, com possibilidade de realização de dois ciclos produtivos durante o ano (SILVA-ACUÑA; GUEVARA, 2002). A produção desse híbrido tem a preferência dos piscicultores da região Norte do Brasil devido ao melhor desempenho produtivo (PAULA, 2009).

Em estudo realizado com piscicultores da região cuiabana, foi relatado que a produção dos híbridos “tambacu” e “tambatinga” ocorrem em 87,5% das propriedades, sendo responsáveis por 88,6% da produção. Os mesmos piscicultores citaram como vantagens da criação de híbridos a precocidade, a rusticidade e bom mercado não destacaram nenhuma desvantagem (BARROS, 2010).



Fotos: Jefferson Christofoletti, Giovanni Moro, Thiago Tardivo, Unesp.

**Figura 2.** Híbridos de peixes redondos (Characiformes) utilizados em escala na produção aquícola.

Entre os híbridos produzidos no Brasil as espécies nativas parentais da ordem Siluriformes possuem grande destaque (Tabela 2), em especial do gênero *Pseudoplatystoma*: *P. coruscans* (pintado), *P. reticulatum* (cachara) da bacia do Prata, e *P. punctifer* (cachara) da bacia do rio Araguaia-Tocantins/Amazônica (MORO et al., 2013). Os peixes deste gênero, em especial os citados acima, possuem alto valor comercial devido suas características de baixo teor de gordura e ausência de espinhas intermusculares que o tornam muito apreciado pelo consumidor (CARVALHO et al., 2008). O híbrido chamado de “ponto e vírgula” (Figura 3) obtido pelo cruzamento bi-direcional entre

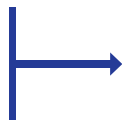
os parentais cachara e pintado (Tabela 2), embora seja produzido em praticamente todo o país, ou seja, mesmo em bacias hidrográficas onde eles não ocorrem naturalmente, ainda apresentam alguns problemas de cultivo ligado ao manejo alimentar e larvicultura.

Na tentativa de elucidar estes problemas foi introduzido nas práticas de hibridação entre as espécies de *Pseudoplatystoma* a espécie de jundiá da amazônia (*Leiarius marmoratus*). Esta espécie apresenta como vantagem o baixo canibalismo em relação aos *Pseudoplatystoma*, o que favorece a larvicultura, e principalmente a característica de onivoria mais adequada para o treinamento e aquisição de ração de modo efetivo e mais rápido em comparação com os *Pseudoplatystoma* que são animais carnívoros. Nesse sentido, o híbrido “pintadiá” produzido entre fêmeas de pintado (*P. corruscans*) e machos de jundiá (*L. marmoratus*) vem ganhando espaço nas estações de larvicultura por possuírem as características de interesse dos seus respectivos parentais, sendo outro bom exemplo de vigor híbrido. Outra variação deste cruzamento é a fêmea de cachara (*P. reticulatum*) e o macho de jundiá (*L. marmoratus*) o chamado “cachandiá”, que junto com “pintadiá” vem substituindo gradativamente o “ponto e vírgula” e os surubins puros na produção do sudeste e centro-oeste.

Outro destaque na mesma linha de produção é o híbrido entre as fêmeas de cachara *Pseudoplatystoma punctifer* e machos de jundiá da amazônia *L. marmoratus*, chamado de “jundiara” ou “pintado da amazônia” (Figura 3), que assim como o “pintadiá” e “cachandiá” possui característica de onivoria e baixa predação entre os alevinos herdadas do parental jundiá e taxa de crescimento herdada do parental cachara (CAMPOS, 2010). Na região Norte, as estações de larvicultura vêm produzindo este híbrido em larga escala, um bom exemplo é o estado do Tocantins, onde das oito estações de larvicultura, quatro produzem o híbrido e comercializam para fazendas de engorda dentro e fora do estado. Devido a estas características do híbrido, já conhecidas, e a um suposto crescimento maior do cachara *P. punctifer* em relação aos outros surubins do gênero, já existem relatos de produção do híbrido “pintado da Amazônia” (*P. punctifer* e *L. marmoratus*) em estados do centro-oeste.



Cachara



Pintado

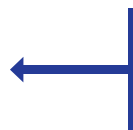
Ponto e Virgula  
(F Cachara e M Pintado)



Cachara AM



Pintado da Amazônia  
(F Cachara AM e M Jundiá)



Jundiá AM

Fotos: Eduardo Varela, Anderson Alves.

**Figura 3.** Híbridos de peixes redondos (Characiformes) utilizados em escala na produção aquícola.

Apesar da produção de híbridos apresentar destaque na cadeia de pescado nacional, a sua sustentabilidade pode estar comprometida. Tendo em vista que a domesticação das espécies nativas é recente e grande parte dos animais utilizados na produção é silvestre, a produção indiscriminada de híbridos no Brasil potencializa a contaminação genética dos planteis de reprodutores em formação. Os reprodutores hibridizados, em gerações pós-F1, não garantem a desejada heterose dos híbridos. Além disso, limita a produção legítima de animais puros, pela dificuldade de identificação correta da hibridação. O avanço da domesticação de peixes nativos só é possível com a ocorrência de sucessivos cruzamentos da mesma espécie para seleção de características de importância para a piscicultura, enquanto a domesticação das nativas puras não for totalmente obtida à cadeia produtiva estará vulnerável a produção de espécies exóticas e de híbridos interespecíficos, que são potencialmente danos ao meio ambiente e a própria produção quando não há controle do plantel de matrizes.

## **Impacto da produção de híbridos**

Conforme relatado anteriormente, os programas de hibridação têm sido realizados no intuito de produzir animais estéreis com vigor híbrido (BARTLEY et al., 2001). De acordo com CHEVASSUS (1983), híbridos de peixes podem ser completamente estéreis, mas também podem apresentar gônadas com maturação sexual normal em ambos os sexos. Se férteis, os híbridos podem “contaminar” geneticamente o ambiente natural ou competir por espaço e alimento com os estoques parentais (BARTLEY et al., 2001), podendo causar até extinção local dos estoques naturais (EPIFANIO; NIELSEN, 2001), como detalhado na figura 04. A produção de híbridos ainda possui um agravante, esses animais podem ser utilizados erroneamente como reprodutores na piscicultura e produzirem híbridos F2 (segunda geração) ou retrocruzamentos com as espécies parentais puras, contaminando o plantel de matrizes e a qualidade da produção.

Os escapes de indivíduos híbridos das pisciculturas podem ser considerados um dos principais meios de dispersão de espécies exóticas em novos ambientes (ASHIKAGA et al., 2009). De acordo com TOLEDO-FILHO et. al (1992), que já destacavam o risco da produção de híbridos, e propunham que as estações e centros experimentais de pesquisa em piscicultura mantivessem um rigoroso controle sobre os estoques de “tambacu”, recomendando que os mesmos não fossem distribuídos para pisciculturas particulares, em especial aquelas situadas em regiões do país onde existissem populações naturais dos parentais (pacu e tambaqui, neste caso). Os mesmos autores sugeriam a adoção de medidas preventivas de controle para evitar sua disseminação até que novos dados sobre esses híbridos fossem levantados por pesquisadores. Atualmente, constata-se que essa recomendação não foi observada, uma vez que os híbridos interespecíficos de peixes estão sendo largamente produzidos em diversas regiões do país, sendo mencionados até em estatísticas oficiais.

Não há legislação federal que regule a produção de peixes híbridos no Brasil. Existe apenas uma referência a este assunto na Portaria nº 145-N/98, de 29 de outubro de 1998, do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos recursos naturais renováveis - IBAMA. Nos estados do Mato Grosso (Lei nº 8.464/06) e São Paulo (Decreto 60.582/14) existem alguns subsídios legais que regulamentam a produção estadual de peixes híbridos obedecendo alguns critérios. Em especial no estado de São Paulo os critérios são: I – solidez necessária para contenção de água, que garanta sua estabilidade, comprovados por cálculo de engenharia com Recolhimento de Anotações de Responsabilidade Técnica (ART); II – proteção dos taludes contra erosão; III – construção de dispositivos de proteção contra fuga de peixes para o meio ambiente (telas, filtros, tanques de peixes nativos predadores e/ou tanque de jacarés) (São Paulo, Decreto 60.582/14).

### **A) Híbridos nos estoques pesqueiros e na piscicultura**

A perda da biodiversidade nos ambientes aquáticos está entre os mais sérios problemas enfrentados pelos países ao redor do mundo. Mais da metade (51,1%) de todos os vertebrados existentes são peixes, aproximadamente 24 mil espécies, destes 9.966 espécies (40,5%) habitam ambientes de água doce (NELSON, 2006). Este grupo de vertebrados apresenta grande importância devido à quantidade de espécies existentes e sua contribuição como importante fonte de proteína para as populações humanas. Apesar da grande importância econômica que os peixes representam para o homem, não existem medidas efetivas de conservação da diversidade (GROOMBRIDGE, 1993). São raras também as estimativas de extinção em peixes, de acordo com MOYLE e LEIDY (1992) estimava-se que cerca de 20% da ictiofauna de água doce no mundo estivesse extinta ou em sério declínio na época. Compreender os efeitos da variabilidade genética em peixes é de fundamental importância para entender como a diversidade está distribuída entre populações. Sendo assim, os métodos genéticos de manejo, conservação e cultivo de peixes são dependentes do conhecimento da quantidade de variação genética dentro de uma unidade local reprodutiva.

Os programas de manejo e melhoramento têm sido utilizados para manutenção da diversidade e recuperação do potencial biológico de populações de peixes nativos. Segundo AGOSTINHO (1992), o manejo exercido com finalidades conservacionistas tem por objetivo manter um número adequado de indivíduos nas populações para que não sejam comprometidas as próximas gerações. A conservação da variabilidade genética das populações de peixes, e outros organismos aquáticos é, portanto, uma etapa fundamental para a manutenção da viabilidade destas populações a médio e longo prazo.

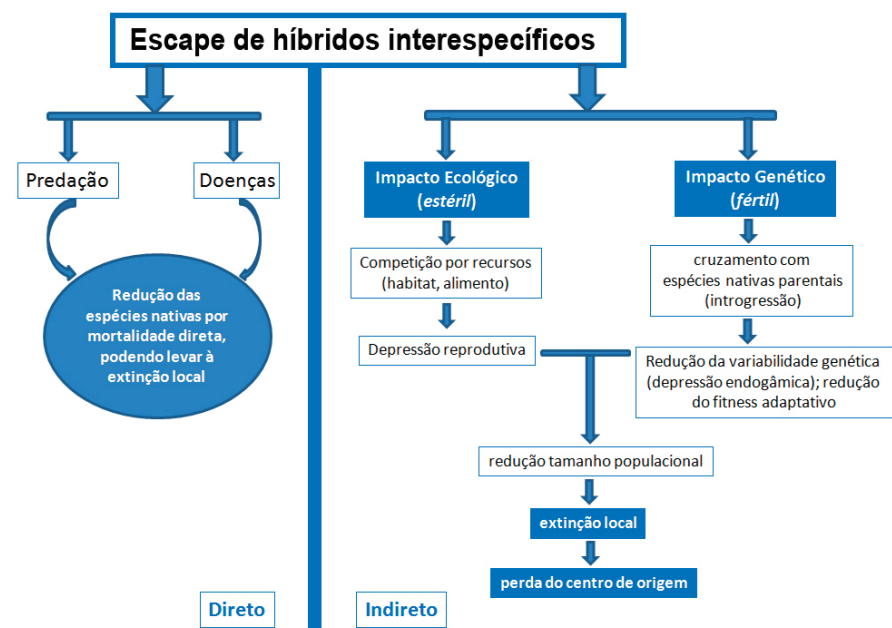
A conservação de um determinado recurso biológico aquático requer o conhecimento de variáveis fisiológicas, comportamentais e ecológicas, que são essenciais para a determinação de como uma dada população sobrevive e se reproduz em diferentes ambientes (DANZMANN et al.,



1991). Um dos pontos centrais destes fatores é o entendimento da estrutura populacional da espécie para que se determinem tanto as respostas fisiológicas às variações ambientais como as estratégias de manejo das populações naturais (RYMAN; UTTER, 1987).

O conceito de populações locais, subpopulações, estoques ou demes (DIZON et. al, 1992) pode diferir em relação ao grau de homogeneidade genética, importância quanto ao isolamento reprodutivo e ao potencial para exploração (GULLAND, 1983). Segundo MORITZ (1994) consideram-se como estoques as subpopulações ou populações que apresentam uma composição genética definida, que podem estar em equilíbrio e adaptadas a determinados ambientes, sendo suscetível a influência direta da atividade humana ou de outras espécies eventualmente introduzidas nesses ambientes.

A exploração dos recursos pesqueiros acima da capacidade de recomposição dos estoques naturais leva ao rompimento do equilíbrio, modificando o processo de produção natural. Havendo esta ruptura, ocorre a diminuição do número de indivíduos no processo de captura e a restrição da variabilidade genética decorrente da extinção de certas populações e consequente desaparecimento de combinações gênicas essenciais. Segundo AGOSTINHO et al. (2005) dentre as diversas causas que levam à perda da biodiversidade em ambientes aquáticos no Brasil, a introdução de espécies nos ambientes naturais é um dos fatores mais impactantes. Ainda, esses autores afirmam que essa introdução ocorre devido ao desconhecimento das pessoas envolvidas na pesca recreativa, manutenção de estoques de peixes e aquicultura. Levando em consideração que a maioria dos híbridos em peixes são férteis e podem se reproduzir com qualquer um dos parentais, esse impacto eleva o nível de preocupação com escapes “acidentais” para o meio ambiente (Figura 4).



**Figura 4.** Esquema identificando o potencial risco direto e indireto do escape de híbridos para o meio ambiente. (Adaptado de De Silva et al., 2009).

O escape de peixes híbridos do cultivo em tanques escavados ou em especial, de tanques-rede, pode acarretar sérios problemas ambientais para o estoque das populações naturais, inicialmente na área onde ocorreu o escape (Figura 4), mas dependendo da habilidade adaptativa e capacidade de reprodução, o híbrido poderá aumentar sua área de distribuição ao longo da bacia e elevar a densidade populacional. Como exemplo, nos casos de espécies exóticas introduzidas, tilápia, tucunaré e corvina nos reservatórios de hidrelétricas nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Paraná. De acordo com De Silva et al. (2009) quando o híbrido é de fato estéril, ele não tem capacidade reprodutiva, mas poderá competir por recursos, seja alimento, habitat e ainda que seja estéril poderá também competir com demais machos pela reprodução. Nesse caso a fêmea pura nativa deposita os ovos e o macho estéril deposita sêmen inviável a fecundação não ocorre fazendo com que a fêmea desperdice energia reprodutiva, consequentemente haverá redução do tamanho populacional nas próximas gerações (Figura 4).

Por outro lado, se o híbrido é fértil, o impacto também ocorre sobre a redução do tamanho populacional, porém de forma diferente, incorporando genes de uma espécie em outra, a chamada introgressão, que pode reduzir o fitness adaptativo a partir de mudança de hábito alimentar, por exemplo, ou ainda reduzir o fitness reprodutivo da espécie pura levando a depressão endogâmica que resultará em redução do tamanho populacional podendo levar a extinção local da espécie pura (De Silva et al., 2009). Em casos mais drásticos, se o escape de híbrido ocorrer na área chamada de centro de origem da espécie (Figura 4), que é a área onde teoricamente está concentrada a maior diversidade genética populacional e onde a espécie teve de fato origem, neste caso, a perda local é irreparável do ponto de vista evolutivo e de conservação, com implicações diretas também na própria produção, pois esta é uma área de repositório de diversidade para seleção de características de interesse, como resistência por exemplo.

A identificação e monitoramento de híbridos em ambiente natural ou mesmo nos estoques de matrizes de pisciculturas não são simples, uma vez que as diferenças morfológicas entre híbridos e espécies parentais são sutis em alguns casos, como “tambacu” e tambaqui, ou cachara-pintado e o “ponto e vírgula”. Principalmente, nos casos de híbrido de segunda geração ou retrocruzado com os parentais fazendo com que as características morfológicas se confundam mais. Infelizmente, relatos de escape de híbridos ou solturas em eventos de peixamento são frequentes, e nestes casos o emprego de ferramentas moleculares (DNA) é fundamental para auxiliar na identificação destes híbridos na natureza, como exemplo a ocorrência de indivíduos híbridos “pintachara” e “cachapinta” no rio Paraguai em Mato Grosso do Sul (VAINI et al., 2014; PORTO-FORESTI et al., 2013). No entanto, é necessário não apenas identificar a ocorrência, abundância e distribuição dos híbridos, mas sim o impacto genético que este está causando no sobre as populações naturais, quando este for fértil, para isso as análises de DNA são fundamentais para identificar a introgressão em eventos atuais e históricos e estimar o efeito da inserção de genes de uma espécie em outra.

Na piscicultura a situação de contaminação de estoques é similar ao que ocorre nos escapes para natureza, com o agravante de que o impacto é direto na produção, uma vez que devido à falta de controle dos plantéis de reprodutores os híbridos acabam sendo incluídos nestes plantéis erroneamente e são utilizados como reprodutores como sendo peixes puros. Esta prática é muito comum em pisciculturas, à contaminação de estoques de matrizes por híbridos é extremamente frequente em plantéis de tambaqui, com a presença de “tambacu” e “tambatinga”, e nos plantéis de pintado e cachara com a presença de “ponto e vírgula”. Embora não tenhamos dados publicados sobre esta prática, nas visitas de campo e em análises desenvolvidas pela Embrapa Pesca e Aquicultura o principal problema está nos planteis de pintado puro, *P. coruscans* atualmente é raro encontrar um produtor que possua plantel totalmente puro, fazendo com que a produção desta espécie entre em sério risco de declínio no futuro.

Os produtores em sua maioria, não controlam o plantel com a marcação por chips ou tag eletrônicos, e mesmo quando fazem não tem o controle de origem do animal, em geral os produtores de alevinos adquirem lotes para reprodutores sem origem definida muito menos com a identificação de pureza do animal, em outros casos, é muito comum produzirem híbridos para venda de alevino ou engorda e manterem lotes de puros e híbridos em mesmo viveiro, e selecionarem híbridos de maior tamanho para reprodutor acreditando serem puros. Isso acontece também porque há grande semelhança morfológica externa entre os parentais e os híbridos, assim como em embriões de híbridos que não apresentaram alterações morfológicas visíveis durante seu desenvolvimento de *P. coruscans* x *P. reticulatum* (FAUSTINO et al., 2007), e em embriões de híbridos de *C. macropomum* x *P. mesopotamicus* (“tambacu”) (RIBEIRO et al., 1995). Com isso, a falta de identificação precoce e assim como em adulto, pode resultar na formação de um plantel de reprodutores contendo puros e híbridos, quando não há controle de produção.

O cruzamento entre dois animais puros de espécies distintas, (híbrido interespecífico), já representa grandes alterações genéticas, por

exemplo, o cruzamento entre *P. punctifer* (cachara) e *L. marmoratus* (jundiá da amazônia) produz um híbrido de F1 (“pintado da Amazônia”) com 50% do genoma de cachara e 50% do genoma de jundiá (Figura 3), as características morfológicas são também divididas, com algumas características mais marcantes do macho ou da fêmea (Figura 6). Por exemplo, o tamanho da cabeça no híbrido é menor do que na cachara (*P. punctifer*), sendo esta uma característica herdada do jundiá da amazônia (*L. marmoratus*) que proporciona maior rendimento de filé ao híbrido do que no parental *P. punctifer* ou nos demais surubins do gênero (*P. corruscans*, *P. reticulatum*) que também são cruzados com o jundiá (Figura 5).

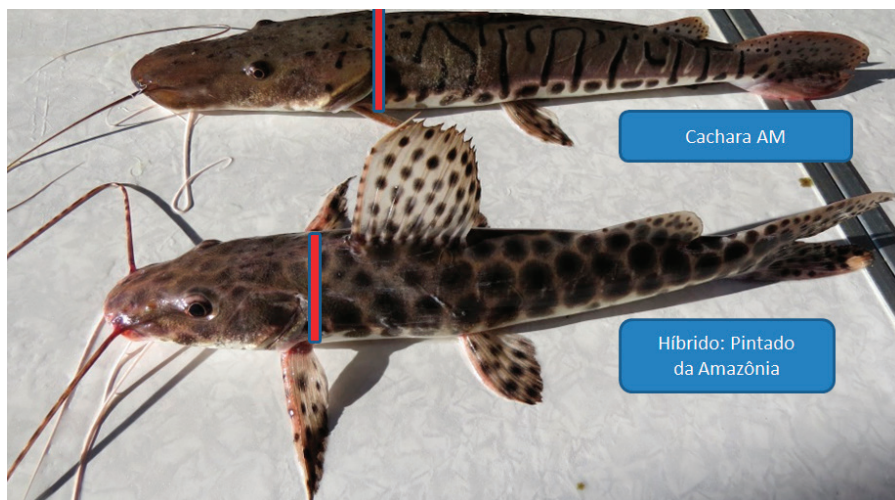
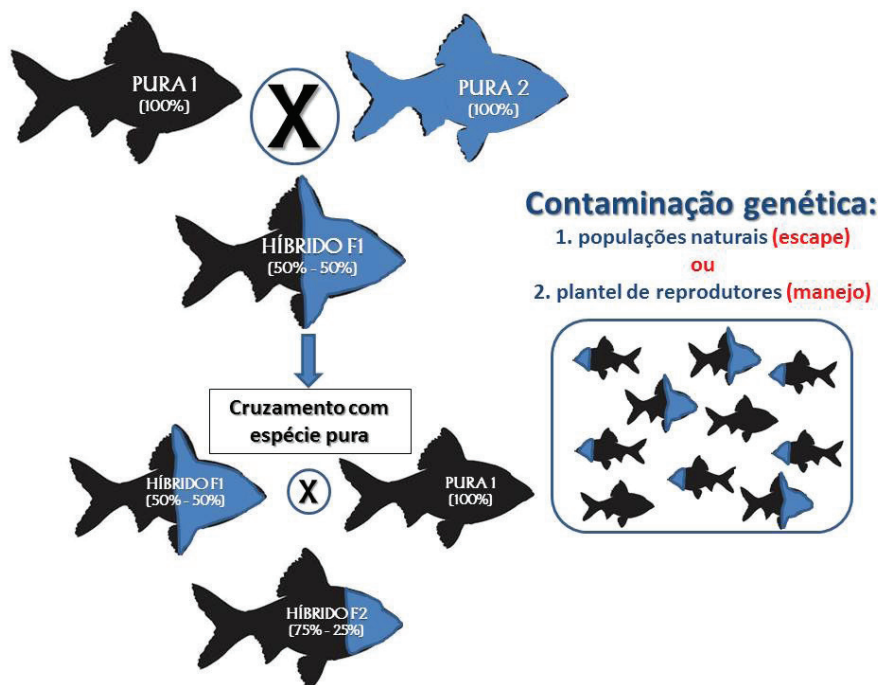


Foto: Eduardo Varela, Anderson L. Alves.

**Figura 5.** Comparação entre cachara *Pseudoplatystoma punctifer* e o híbrido “pintado da amazônia” produzido com *Leirius marmoratus* (Jundiá da amazônia). Em destaque o tamanho da cabeça reduzido do híbrido. Obs: Exemplares com aproximadamente 700-800g.



**Figura 6:** Esquema dos cruzamentos que dão origem aos híbridos F1 e F2 e a representação da possível contaminação das populações naturais e estoques de reprodutores em pisciculturas por escape de híbridos (tanque-rede) ou manejo inadequado nos planteis.

Uma situação comum na piscicultura é que híbridos em engorda sejam selecionados diretamente ou por falha no manejo e acabam sendo inseridos no plantel de reprodutores (Figura 6). No caso da figura 5 a morfologia do híbrido favorece a identificação, mas em alguns casos a missão não é tanto simples, como “ponto e vírgula” e “tambacu”. Imagine o híbrido “jundiá da Amazônia”, sendo retrocruzado aleatoriamente, com uma das espécies parentais, a cachara, por exemplo. Neste caso, o híbrido de segunda geração F2 produzido terá 75% de cachara e 25% de jundiá, ou seja, as características morfológicas serão predominantemente da cachara, tornando a identificação de um animal puro de cachara e um híbrido F2 quase

impossível morfologicamente (Figura 6). Isso é muito comum com o híbrido “ponto e vírgula” retrocruzada com um dos parentais pintado ou cachara, fazendo com que muitos plantéis de reprodutores destas espécies estejam contaminados por híbridos F2 sem que o produtor consiga efetivamente reconhecer e retirar o híbrido do plantel. Essa contaminação na piscicultura tem sérios problemas, uma hipótese é de que os híbridos F2 tenham redução da produtividade, e do ponto de vista genético, os reprodutores possuem introgressão de genes de outra espécie que pode afetar diretamente no desenvolvimento dos animais reduzindo o fitness, causando uma situação inversa daquela objetivada quando da produção do híbrido F1.

### **B) Impacto genético da hibridação: introgressão**

O processo de hibridação, que produz prole viável a partir do cruzamento interespecífico, ocorre em aproximadamente 10% de espécies animais e 25% das espécies de plantas (MALLET, 2005), por outro lado, o processo de hibridização também pode acontecer entre linhagens intraespecíficas. O resultado deste processo, em especial o interespecífico, pode levar a introgressão, que de acordo com RIESEBERG e WENDEL (1993) pode ser definida como *“a interação estável do material genético de uma espécie em outra através de sucessivos eventos de retro cruzamento”*. Especialmente em plantas, a hibridização pode levar a um processo de especiação, no qual a nova linhagem híbrida se torna reprodutivamente isolada das populações parentais, principalmente na formação de um híbrido aloploiploide (BAACK; RIESEBERG, 2007). Em animais a especiação via hibridização é um fenômeno raro, mas não excludente.

No entanto, entre os principais efeitos da hibridização estão às alterações no genoma do híbrido incluindo alterações desde mudanças na estrutura genética fina como a expressão gênica, até alterações acentuadas como na estrutura cromossômica e no tamanho do genoma. Em relação à expressão gênica as alterações podem envolver mudanças no perfil de expressão de genes, como o gene passar a expressar o seu produto (proteína ou enzima) em menor quantidade,

expressar o produto com configuração e composição molecular alteradas afetando diretamente na funcionalidade do produto ao se ligar ao sítio de ancoragem específico, por exemplo, ou ainda a expressão pode ser totalmente inibida pela ação de microRNAs ou demais agentes que agirão sobre os promotores silenciando o gene, ou ainda causar alteração na expressão tecido-específico (ADAMS; WENDEL, 2005).

O processo de hibridação gera necessariamente alterações na estrutura cromossômica do híbrido em relação aos parentais devido a falhas no pareamento dos cromossomos homólogos, esse evento é determinante para a viabilidade do híbrido. No caso dos híbridos viáveis, em especial em peixes de água doce, são produzidos a partir de espécies parentais do mesmo gênero ou de gêneros relacionados (Tabela 1 e 2) que favorecem o pareamento dos cromossomos, pois, os parentais devem compartilhar um ancestral comum mais recente e consequentemente possuem cariótipos semelhantes na sua macroestrutura e mesmo número diploide. PORTO-FORESTI et al. (2008) fornecem um bom exemplo nas espécies do gênero *Leporinus*.

As alterações no tamanho do genoma também ocorrem de modo sutil quando as espécies parentais possuem genomas com tamanho semelhante, ou mais drástico quando os parentais possuem genomas com tamanhos muito diferentes, ou até quando ocorre a formação de um híbrido alopoliploide, comum em plantas, duplicando o tamanho do genoma em relação aos parentais (GREGORY, 2005). Entre os vertebrados o grupo dos peixes possuem especial destaque por possuir os dois extremos em termos de tamanho de genoma, o maior ocorre na pirambóia *Lepdosirem paradoxa* com 133pg de DNA/núcleo e o baiacu *Takifugu rubripes* com 0,4 pg de DNA/núcleo (GREGORY, 2005).

Os efeitos das alterações no genoma dos híbridos na expressão gênica, na estrutura cromossômica e no tamanho do genoma, podem resultar em baixa adaptabilidade ambiental ou na redução na fertilidade, esterilidade, alterações metabólicas e no desenvolvimento ontogenético dos animais em cativeiro (CASTILLO et al., 2008), sobretudo naqueles casos onde os parentais são espécies de gêneros diferentes, que possuem número diploide distinto e apresentem divergência genética alta.



Em especial a atividade de produção de híbridos de peixes de água doce no Brasil é realizada de modo totalmente “cego” no que diz respeito ao conhecimento prévio das características genéticas dos parentais. Uma informação básica, porém, fundamental para o processo de hibridação é a determinação do número diploide de cromossomos e do complemento cariotípico das espécies parentais, se observarmos a tabela 2 e 3 veremos que todas as espécies de peixes utilizadas na produção de híbrido são Characiformes ou Siluriformes, mas principalmente são peixes de porte médio a grande, reconhecidos como migradores. Do ponto de vista genético, os peixes nativos de água doce migradores (diferente dos peixes de pequeno porte não migradores), são caracterizados por possuírem cariótipos conservados, ou seja, não ocorre variação do número diploide e estrutura cariotípica (variação na morfologia dos cromossomos). Nas populações destas espécies, esta característica conservacionista faz com que as populações isoladas geograficamente que fazem migração reprodutiva e se reúnem em cardumes possam reproduzir sem que haja problemas no pareamento dos cromossomos homólogos. Coincidentemente as espécies utilizadas para produção dos principais híbridos comercializados no Brasil (Tabela 3) são espécies migradoras e, portanto, conservadas citogeneticamente, resultando assim em híbridos viáveis, com a heterose esperada, e na maioria dos casos capazes de se reproduzirem.

**Tabela 3.** Relação de número diploide e fórmula cariotípica das espécies parentais e dos híbridos de peixes de água doce mais produzidos no Brasil.

Parental fêmea	2n/Cariótipo	Parental macho	2n/Cariótipo	Híbrido
Tambaqui <i>C. macropomum</i>	2n = 54 (20M, 34SM)	Pacu <i>P. mesopotamicus</i>	2n = 54 (20M, 34SM)	2n = 54 (20M, 34SM)
Cachara <i>P. reticulatum</i>	2n = 56 (18M, 14SM, 24ST/A)	Pintado <i>P. coruscans</i>	2n = 56 (18 M, 16 SM, 22ST/A)	2n = 56 (18M, 15SM, 23ST/A)
Pintado <i>P. coruscans</i>	2n = 56 (18M, 16SM, 22ST/A)	Cachara <i>P. reticulatum</i>	2n = 56 (18M, 14SM, 24ST/A)	2n = 56 (18M, 15SM, 23ST/A)
Cachara <i>P. punctifer</i>	2n = 56 (18M, 14SM, 24ST/A)	Jundiá da amazônia <i>L. marmoratus</i>	2n = 56 (?)	2n = 56 (?)
Pintado <i>P. coruscans</i>	2n = 56 (18M, 16SM, 22ST/A)	Jundiá da amazônia <i>L. marmoratus</i>	2n = 56 (?)	2n = 56 (?)

Nas tabela 2 e 3 estão listadas apenas as espécies parentais e híbridas viáveis do ponto de vista de desenvolvimento e consequente de maior produção, porém, é fato que nas estações de larvicultura de todo o país ocorrem as mais diversas tentativas de produção de híbridos que não se desenvolvem ou que apresentam morfologia aberrante. Esse resultado se deve a ausência total ou parcial de homologia entre os pares de cromossomos que impediram o funcionamento correto dos genes essenciais nas fases iniciais do desenvolvimento embrionário, tornando o indivíduo inviável.

Se considerarmos apenas os híbridos de peixes nativos viáveis o objetivo da hibridação, é obter híbridos de primeira geração (F1) que frequentemente devem exibir acréscimo em tamanho, na taxa de

crescimento, e produtividade em relação aos parentais. A heterose obtida tem sido explorada não apenas em peixes, mas em vários grupos animais á décadas, no entanto, a base genética da heterose ainda se mantém controversa (BAACK e RIESEBERG), (2007). A hipótese de dominância sugere que alelos deletérios recessivos são complementados em híbridos por alelos não deletérios do outro parental, gerando um aumento no vigor, em contraste, a hipótese de sobredominância atribui o vigor híbrido as interações sinérgicas de alelos em um locu heterozigoto (BIRCHLER et al., 2003). No entanto, é difícil distinguir o real papel da sobredominância em relação a complementação recíproca de alelos deletérios nos locos ligados (pseudo sobredominância). Hipóteses mais recentes incluem a possibilidade que a heterose seja provocado por interações sinérgicas entre os alelos em diferentes loci (epistasia) ou a mudanças não-aditiva na expressão gênica.

Além da base genética da heterose ser desconhecida, outro problema em relação à hibridação esta na identificação correta dos híbridos, o uso da morfologia externa ainda acaba sendo a principal ferramenta utilizada para a detecção de híbridos em piscicultura e na natureza. No entanto, existe uma grande possibilidade de falha nesta identificação, segundo ALLENDORF et al. (2001), nem todas as variações morfológicas têm base genética. A detecção de híbridos usando caracteres morfológicos geralmente assume que indivíduos híbridos serão fenotipicamente intermediários entre os indivíduos parentais. Por outro lado, esse fato não é regra, e normalmente os híbridos em F1 representam um mosaico de fenótipo dos parentais. Os indivíduos híbridos férteis quando retrocruzados com um dos parentais produzem uma linhagem híbrida F2 que contém a maioria dos genes do parental de origem e conseqüentemente tendem a ser morfológicamente indistinguível deste parental. Deste modo, o uso apenas de caracteres morfológicos não permite determinar se um indivíduo híbrido é de primeira geração (F1), de segunda geração retrocruzada (F2) ou até de primeira geração entre os próprios híbridos. Um exemplo interessante é o híbrido “pintachara ou cachapinta” conhecidos popularmente como

ponto e vírgula. Estes animais estão sendo encontrados na natureza nas bacias dos rios Paraguai e Paraná (VAINI et al., 2014), além de estarem sendo encontrado entre os estoques de reprodutores puros das pisciculturas para espécies de cachara e pintado (*Pseudoplatystoma* spp.). Na maioria dos casos, são indistinguíveis ou geram dúvidas quanto a sua caracterização (CARVALHO et al., 2008).

O uso de marcadores moleculares baseados em análises de DNA como ferramenta na identificação dos híbridos são imprescindíveis, pois possibilitam que os dados genéticos sejam empregados tanto em escala individual quanto populacional para entender a história da hibridação em ambiente natural e de cultivo (ALLENDORF et al., 2001, ALVES et al., 2013). Os híbridos F1 e parentais podem ser identificados de forma confiável utilizando os marcadores moleculares co-dominantes em especial os microssatélites, PCR-RFLP, PCR multiplex e a análise de sequências de DNA (ALVES et al., 2013), porém distinguir entre híbridos F2 de retrocruzamentos e de geração posterior entre híbridos necessita de marcadores moleculares mais resolutivos com enfoque em genealogia, em especial o baseado em sequências de DNA.

As análises moleculares permitem não apenas identificar com maior precisão os híbridos interespecíficos, mas também a ocorrência de introgressão, que de acordo com RIESEBERG e WENDEL(1993) é a interação estável do DNA de uma espécie "A" na espécie "B" através de cruzamento, este produz um híbrido "AB" que se retrocruzado com o parental "A", por exemplo, insere o material genético da espécie "B" na espécie "A"(Figura 6). A identificação através de marcadores moleculares de material genético (DNA) da espécie "B" na espécie "A" caracteriza a introgressão e permite monitorar a frequência de indivíduos na população que passaram por este processo. O termo "introgressão gênica" é usualmente utilizado para definir este evento, no entanto, é necessário cautela na utilização do termo, uma vez que em eventos de hibridização entre espécie do mesmo gênero ou de gêneros filogeneticamente próximos, dificilmente ocorrerá inserção de genes diferentes. Isto devido a recente divergência entre as espécies

que provavelmente devem compartilhar o mesmo conjunto de genes e diferir apenas na composição dos pares de bases e na expressão destes genes. Nesse caso, a introgressão não é gênica e sim de formas variantes do gene, ou seja, alélica (para microssatélites) ou haplotípica (para sequências de DNA). A introgressão alélica ou haplotípica deve ser a forma mais comum entre os híbridos de peixes nativos produzidos no Brasil que usualmente pertencem ao mesmo gênero ou a gêneros próximos (Tabela 2). A introgressão gênica deve ocorrer naqueles casos onde os gêneros das espécies parentais são filogeneticamente distintas o que favorece ao longo do tempo a diferenciação do genoma em número de genes e complexidade gênica.

Nesse contexto, a introgressão haplotípica se torna mais informativa em relação à alélica, pois insere na análise a escala temporal (MERANER et al., 2008). Além disso, de acordo com MALLETT (2005) a hibridação ocasional não necessariamente resulta em inserção fixada de variação genética, por isso a frequência de hibridação entre espécies pode superestimar a taxa de introgressão. No entanto, espécies que divergiram recentemente tendem a possuir mecanismos de isolamento mais frágeis do que espécies mais antigas, por outro lado, estas espécies filogeneticamente distantes podem ter tido ocorrência de hibridação nos seus ancestrais comuns. Esta incerteza destaca os desafios de detectar hibridação histórica e eventos de introgressão (BAACK; RIESEBERG, 2007).

Recentemente a análise de sequências de genes mitocondriais e nucleares vem se tornando cada vez mais comum na detecção de introgressão e identificação da frequência de sua ocorrência entre espécies de peixes (YAAKUB et al., 2006; MERANER et al., 2008; CASTILLO et al., 2008). A ocorrência de introgressão em peixes é observada em espécies mantidas em cultivo com o objetivo de produção de híbridos (VÄHÄ; PRIMMER, 2006), em casos de escapes para o ambiente natural (CASTILLO et al., 2008) e, inclusive de modo natural em espécies não cultivadas (FREYHOF et al., 2005; YAAKUB et al., 2006).

VAHA e PRIMMER (2006) em um amplo estudo com espécies de trutas: *Salmo marmoratus* (marmome) e *Salmo trutta* (marron), demonstram que o uso de doze loci de microssatélites para análise de introgressão foi capaz de discriminar 95% entre indivíduos puros e híbridos F1. Contudo, a eficiência de detecção de indivíduos a partir de retrocruzamento foi reduzida para 65%. Nesse sentido, há grande possibilidade de identificação errônea de indivíduos (híbridos) retrocruzados como sendo de espécies de peixes puras. Quando são combinadas as informações dos microssatélites com sequências de mtDNA (*região D-loop*) a discriminação dos indivíduos retrocruzados, dos híbridos F1 e parentais puros foi completa. Estes dados sugerem que em situações de cenários complexos de introgressão e a existência de diferentes classes híbridas o uso de informações de sequência de mtDNA poderia diagnosticar híbridos de retrocruzamento escondidos e, consequentemente, melhorar a seleção de trutas puras *S. marmoratus* e *S. trutta*.

Em outro estudo CASTILLO et al. (2008) mostram que a variação em sequências dos genes mitocondriais ND1-16S rDNA confirma a introgressão de variação haplotípica de estoques cultivados de *S. salar* (Truta do Atlântico) que escaparam para rios do sul da Europa e hibridaram com *S. trutta* (Truta Marrom). O haplótipo identificado como BA é específico das populações de *S. salar* com frequência superior a 0,35 podendo alcançar 0,65 em rios da Islandia no Norte Europeu. A introgressão deste haplótipo em de *S. trutta* mostrou uma variação de 1,3 a 60% em populações de sete rios do Sul da Europa, que vem confirmar o intenso fluxo gênico entre populações destas espécies a partir de eventos de escape e consequente introdução de espécie exótica. Os efeitos da introgressão são discutidos pelos autores que não conseguem pontuar de modo efetivo se ocorre efeito negativo da inserção de variação genética de *S. salar* em *S. trutta*.

Segundo ALLENDORF et al. (2001), nos estoques naturais da truta de Clark (*Oncorhynchus clarkii*) foram identificados diversos alelos da truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) inseridos no genoma dessa

espécie devido à introgressão de genes. Segundo esses autores, o escape accidental de trutas arco-íris para o meio levou ao cruzamento dessa espécie com a truta de Clark formando indivíduos híbridos. Esses indivíduos híbridos podem está retrocruzando com as trutas nativas puras e introduzindo genes da truta arco-íris no DNA dessa espécie.

Na Tailândia, durante muitos anos, o cultivo de bagres foi baseado em um híbrido de uma espécie local, o bagre tailandês (*Clarias macrocephalus*), e uma espécie exótica, o bagre africano (*Clarias gariepinus*). Esses animais foram introduzidos nos ambientes naturais da Tailândia e, atualmente, pesquisadores avaliaram a introgressão do bagre africano nas populações naturais do bagre tailandês. SENANAN et al. (2004) avaliaram a introgressão de genes do bagre africano em bagres tailandeses nativos e verificaram que muitos dos animais amostrados já possuem genes do bagre africano introduzidos no seu DNA.

Eventos de hibridação e consequentemente de introgressão entre espécies de dois gêneros, distintos, separados filogeneticamente também podem ocorrer em ambientes naturais, não apenas de modo artificial em pisciculturas. FREYHOF et al. (2005) apresentaram um exemplo envolvendo as espécies de Cyprinidae *Scardinius dergle* e *Squalius tenellus*, que de acordo com inferências de relógio molecular indicam que os gêneros divergiram filogeneticamente a cerca de 10 milhões de anos. Análises morfológicas não trazem nenhuma evidência de ocorrência de indivíduos híbridos em populações de *Scardinius dergle* (FREYHOF et al., 2005). Em contraste com os dados morfológicos, as sequências de DNA mitocondrial do gene citocromo B revelam a introgressão de haplótipos de *Squalius* em *Scardinius* e as análises filogenéticas apontam que *S. dergle* está mais estreitamente relacionado com *S. tenellus* do que com as demais espécies do gênero, com alta distância genética  $p = 11,2\%$ . Atualmente, as duas espécies ocorrem em simpatria no lago Clay-pit devido a construção de uma barragem a 50 anos que propiciou o encontro das duas espécies. Especula-se que mais de 10 gerações foram suficientes para que *Squalius tenellus* perdesse alguns caracteres morfológicos por retrocruzamentos e introgressão a partir de *S. dergle*, apontando a ocorrência de introgressão bi-direcional.

## Riscos e Desafios:

Muitos são os fatores que contribuem atualmente para o declínio da diversidade biológica dos ambientes naturais. Dentre eles podemos citar as alterações climáticas globais, a poluição, alterações de habitats e interação entre espécies invasoras (SALA et al., 2000). Considerando esses fatores, a aquicultura é um vetor em potencial, pois é uma atividade que gera um aporte de nutrientes para o ambiente natural, o que seria similar a poluição, altera o habitat natural, como por exemplo, com a instalação de tanques-rede e pode ocasionar a introdução de uma espécie exótica ou alóctone nos corpos de água naturais.

As espécies de peixes exóticas (incluindo os híbridos interespecíficos) correspondem a pelo menos 17% da produção global. Atualmente, a produção de peixes híbridos é, de fato, uma atividade frequente e em expansão no Brasil, com comercialização realizada em larga escala, comprovado pela inclusão de alguns híbridos entre as espécies mais produzidas no país em estatísticas oficiais. Visando o melhor desempenho com o “vigor híbrido”, as pisciculturas vem explorando cada vez mais a hibridação, utilizando-se do cruzamento entre diversas espécies. Por outro lado, ocorre a introgressão de variabilidade genética (alélica, haplotípica ou gênica) de uma espécie em outra. As informações disponíveis não são conclusivas sobre o real efeito da introgressão na ictiofauna silvestre, porém com o emprego das novas tecnologias com base em marcadores de DNA, a ciência será capaz de identificar com maior precisão a ocorrência de introgressão, seja ela recente ou histórica, entre populações cultivadas e nativas da mesma espécie, entre espécies diferentes no mesmo gênero ou entre espécies de gêneros distintos e principalmente estimar seu efeito. De qualquer modo, há grande controvérsia quanto às consequências da introgressão, mas consenso quanto aos riscos causados pela hibridização e consequente introgressão em populações naturais:

1. Distúrbios no modo de reprodução bissexual, uma vez que o pareamento desigual dos cromossomos nos indivíduos híbridos pode gerar novos padrões de gametas com constituições genéticas



diversas (mosaíco genético). Em casos de retrocruzamentos com as espécies parentais, pode resultar em diminuição do sucesso reprodutivo (SOUSA-SANTOS et al., 2007);

2. Perda de características morfológicas por um dos parentais após sucessivas gerações de retrocruzamentos com híbridos viáveis, em alguns casos cerca de 10 gerações são suficientes (FREYHOF et al., 2005);

3. Contaminação do estoque puro de reprodutores (MIA et al., 2005). Os indivíduos híbridos podem ainda serem utilizados na formação de estoques “pseudo” puros para fins de repovoamento e produção (CARVALHO et al., 2008);

4. Utilização de híbridos como reprodutores em piscicultura pode reduzir o vigor híbrido para as características de interesse, como taxa de crescimento, resistência, entre outras (SENANAN et al., 2004);

5. O escape acidental ou intencional para a natureza de espécies nativas utilizadas na produção de híbrido translocadas de sua bacia hidrográfica de origem para outras bacias ou o escape do híbrido interespecífico pode afetar a integridade genética das populações nativas, seja competindo por recursos ou eventualmente reproduzindo e retrocruzando. A consequência do escape pode ser a extinção local da população nativa local (ALLENDORF et al., 2001).

## Considerações Finais

Estudos que comprovem a vantagem da produção de peixes híbridos sobre as espécies parentais “puras” são escassos e insuficientes. Desse modo, são necessárias mais pesquisas sobre o desempenho desses híbridos, com testes de desempenho zootécnico nas mesmas condições ambientais dos parentais e estudos sobre o impacto

ambiental provocado pela inclusão destes exemplares na natureza. Há necessidade também de se realizar um monitoramento genético, com o estabelecimento de técnicas de caracterização e reconhecimento dos híbridos para fins de fiscalização no futuro. Estes estudos poderão fornecer subsídios para o estabelecimento de uma legislação para produção e comercialização de híbridos no país.

O maior desafio da piscicultura sustentável que alie o desenvolvimento econômico e a preservação da biodiversidade será estabelecer programas de melhoramento genético e de geração de tecnologias para a produção das espécies nativas com as características zootécnicas de interesse (heterose) que são encontradas nos híbridos obtidos pelos cruzamentos interespecíficos. Deste modo, trazendo ao produtor uma alternativa ao híbrido que seja rentável e segura do ponto de vista ambiental e econômico. O setor aquícola nacional tem o desafio de fornecer alternativas mais sustentáveis de oferta de proteína animal bem como zelar pela biodiversidade de espécies de peixes de água doce com potencial ainda a ser explorado, assumindo assim posição de destaque entre os maiores produtores mundiais de peixe.

## Referências Bibliográficas

ADAMS, K. L.; WENDEL, J. F. Allele-specific, bidirectional silencing of an alcohol dehydrogenase gene in different organs of interspecific diploid cotton hybrids. **Genetics**, v. 171, n. 4, p. 2139–42, 2005.

AGOSTINHO, A. A. Manejo de recursos pesqueiros em reservatórios In: AGOSTINHO, A. A.; BENEDITO-CECÍLIO, E. (Eds). **Situação atual e perspectivas da ictiologia no Brasil**. Documentos do IX Encontro Brasileiro de Ictiologia. Maringá: Editora da UEM, p. 107-120, 1992.

AGOSTINHO, A.A.; THOMAZ, S.M.; GOMES, L.C. Conservação da biodiversidade em águas continentais do Brasil. **Megadiversidade**, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 70-78, 2005.

AMAPÁ, Projeto de LEI No 0066/09, de 08 de maio de 2009.

ALENCAR, A. H. Anatomia do aparelho digestório do tambatinga. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 10, n. 3, p. 2501–2512, 2013.

ALLENDORF, F. W. et al. The problems with hybrids: setting conservation guidelines. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 16, n. 11, p. 613–622, 2001.

ALVES, A.L.; VARELA, E.S.; HASHIMOTO, D.T. Genética aplicada a piscicultura. In: RODRIGUES, A.P.O. et al (Orgs.). **Piscicultura de água doce: multiplicando conhecimento**. 1ª Ed. EMBRAPA, Cap. 8, p. 273-300. 2013.

ARAUJO-LIMA, C.; GOMES, L. DE C.; BALDISSEROTTO, B. Tambaqui (*Colossoma macropomum*). In: BALDISSEROTTO, M.; GOMES, L.C. (Orgs.). **Especies nativas para piscicultura no Brasil**. 2. ed. Santa Maria: UFSM, 2005. Cap. 7, p. 175-204.

ARNOLD, M.; HODGES, S. Are natural hybrids fit or unfit relative to their parents? **Trends in Ecology & Evolution**, v. 10, n. 2, p. 67–71, 1995.

ASHIKAGA, F. Y. et al. **Invasão dos híbridos em águas continentais brasileiras**. Boletim Ablimno, v. 38, n.2, Botucatu, 2009.

BAACK, E. J.; RIESEBERG, L. H. A genomic view of introgression and hybrid speciation. **Current opinion in genetics & development**, v. 17, n. 6, p. 513–8, 2007.

BALDISSEROTTO, B.; GOMES, L. DE C. **Espécies nativas para piscicultura no Brasil**. 2o ed. Santa Maria: Editora UFSM, 2010.

BARROS, A. F. **Análise Sócio Econômica e Zootécnica da Piscicultura na microrregião da Baixada Cuiabana-MT**. 2010. Tese (Doutorado em Aquicultura) – Centro de Aquicultura da Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2010.

BARTLEY, D.M.; RANA, K.; IMMINK, A. J. The use of inter-specific hybrids in aquaculture and fisheries. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, v. 10, p. 325–337, 2001.

BARTLEY, D.M.; RANA, K.; IMMINK, A.J. The use of inter-species hybrids in aquaculture and their reporting to FAO. **The FAO Aquaculture Newsletter**, n. 17, p. 7-13, 1997.

BIRCHLER, J.; AUGER, D.; RIDDLE, N. In search of the molecular basis of heterosis. **The Plant Cell Online**, v. 15, n. 10, p. 2236-2239, 2003.

BOSTOCK, J.; MCANDREW, B.; RICHARDS, R.; et al. Aquaculture: global status and trends. **Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences**, v. 365, n. 1554, p. 2897-912, 2010.

BUCKUP, P.; MENEZES, N.; GHAZZI, M. **Catálogo das espécies de peixes de água doce do Brasil**. 2007.

CAMPOS, J. L. O cultivo do pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*, Spix; Agassiz, 1829), outras espécies do gênero *Pseudoplatystoma* e seus híbridos. In: BALDISSEROTTO, B.; GOMES, L. DE C. (Orgs.) **Espécies nativas para piscicultura no Brasil**. 2a ed. Santa Maria: Editora UFSM, Cap. 12, p. 335-362, 2010.

CARVALHO, D. C. et al. Identificação molecular de peixes : o caso do Surubim (*Pseudoplatystoma* spp .). **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, v. 32, n. 4, p. 215-219, 2008.

CASTILLO, A. G. F. et al. Interspecific hybridization and introgression are associated with stock transfers in salmonids. **Aquaculture**, v. 278, n. 1-4, p. 31–36, 2008.

CASTRO, R. R. M. C.; MENEZES, N. A. Estudo diagnóstico da diversidade de peixes do Estado de São Paulo. In: R. CASTRO (Ed.); **Biodiversidade do Estado de São Paulo, Brasil: Síntese do conhecimento ao final do século XX**. v. 6, p.1–13, 1998.

CHEVASSUS, B. The characteristics and possible fate of the supply of male and female genetic, v. 33, p. 245–262, 1983.

CHEVASSUS, B. Hybridization in salmonids: Results and perspectives. **Aquaculture**, v. 17, n. 2, p. 113–128, 1979.

DAIRIKI, J. K.; SILVA, T. **Revisão de literatura: exigências nutricionais do tambaqui compilação de trabalhos, formulação de ração adequada e desafios futuros**. Documentos 91. Embrapa. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 44 p.2011.

DANZMANN, R. G.; IHSEN, P. E.; HEBERT, P. D. N. Genetic discrimination of wild and hatchery populations of brook charr, *Salvelinus fontinalis* (Mitchill), in Ontario using mitochondrial DNA analysis. **Journal of Fish Biology**, v. 39, p. 69–77, 1991.

DAY, F. On Hybrids between Salmon and Trout. **Proceedings of the Zoological Society of London**, v. 50, n. 4, p. 751–753, 1882.

DE SILVA, S. S. et al. Alien species in aquaculture and biodiversity: a paradox in food production. **Royal Swedish Academy of Sciences**, v. 38, n. 1, p.1–28, 2009.

DIZON, A. E., C. et al. Rethinking the stock Concept - A phylogeographic approach. **Conservation Biology**, v. 6, p. 24–36, 1992.

DOWLING, T.; SECOR, C. The role of hybridization and introgression in the diversification of animals. **Annual review of Ecology and Systematics**, v. 28, p. 593–619, 1997.

EPIFANIO, J.; NIELSEN, J. The Role of Hybridization in the Distribution, Conservation and Management of Aquatic Species. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, v. 10, p. 245–251, 2001.

FAO. Global Aquaculture Production Volume and Value Statistics Database Updated to 2012. **FAO Fisheries and Aquaculture Department**, March, 2014.

FAO. **Fishery country profile profil de la pêche par Venezuela. VENEZUELA**, 2005.

FAUSTINO, F. et al. Fertilização e desenvolvimento embrionário: morfometria e análise estereomicroscópica dos ovos dos híbridos de surubins (pintado, *Pseudoplatystoma corruscans* x cachara, *Pseudoplatystoma fasciatum*). **Acta Scientiarum: Biological Sciences** v. 29, n. 10, p. 49–55, 2007.

FREYHOF, J. et al. Molecules and morphology: evidence for introgression of mitochondrial DNA in Dalmatian cyprinids. **Molecular phylogenetics and evolution**, v. 37, n. 2, p. 347-54, 2005.

GODINHO, H. P. Estratégias reprodutivas de peixes aplicadas à aquicultura: bases para o desenvolvimento de tecnologias de produção. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, v. 31, n. 3, p. 351-360, 2007.

GREGORY, T. Genome Size Evolution in Animals, In: **The Evolution of the Genome**, edited by T. Ryan Gregory, Academic Press, Burlington, 2005, Pages 3-87, ISBN 9780123014634.

GROOMBRIDGE, B. **1994 IUCN Red List of threatened animals**. United Kingdom: Cambridge : IUCN, 1993.

GULLAND, J. **Stock assessment: why?** 1983.

HELFMAN, G. et al. **The diversity of fishes: biology, evolution, and ecology, Cap.V BehaviorandEcology**. Wiley-Blackwell, 2009. 736p.

IBAMA. PORTARIA no 145/98, de 29 de outubro de 1998. ,1998. Brasil.

LANGEANI, F. et al. Diversidade da ictiofauna do Alto Rio Paraná: composição atual e perspectivas futuras. **Biota Neotropica**, v. 7, n. 3, p. 181–187, 2007.

LOPES, M. A. Pescar terra adentro. **Jornal Correio Braziliense**, 13 de julho de 2014. p. 14–15, 2014.

LOUGHEED, M.; NELSON, B. **Hybrid Striped Bass Production, Markets and Marketing**. North Dakota State University, 2004.

MADALENA, F. E. *Bosindicus* Breeds and *Bosindicus x Bostaurus* Crosses. In: ROGINSKI, H.; FUQUAY, J. W.; FOX, P. F. (Org.). **Encyclopedia of Dairy Sciences**.Academic Press, 2002. p. 576-585.

MALLET, J. Hybridization as an invasion of the genome. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 20, n. 5, p. 229–237, 2005.

MATO GROSSO, Lei no 8.464, de 04 de abril de 2006. Brasil, MT.

MEDINA FILHO, H. P.; BORDIGNON, R.; BALLVE, R. M. L.; SIQUEIRA, W. J. Genetic proof of the occurrence of mono and dizygotic hybrid twins in Citrus rootstocks. **Revista Brasileira de Genética**, v.16, n.3, p.703-711, 1993.

MERANER, A; BARIC, S.; DALLA VIA, J. The selection of the “wild”: A combined molecular approach for the identification of pure indigenous fish from hybridised populations. **Comparative biochemistry and physiology**. Part D, Genomics & proteomics, v. 3, n. 1, p. 36–42, 2008.

MIA, M.Y. et al. Detection of hybridization between Chinese carp species (*Hypophthalmichthys molitrix* and *Aristichthys nobilis*) in hatchery broodstock in Bangladesh, using DNA microsatellite loci. **Aquaculture**, v. 247, p. 267-273, 2005.

MIRIMIN, L.; KERWATH, S. E.; MACEY, B. M.; et al. Identification of naturally occurring hybrids between two overexploited sciaenid species along the South African coast. **Molecular phylogenetics and Evolution**, v. 76, p. 30–3, 2014. Elsevier Inc

MORITZ, C. Applications of mitochondrial DNA analysis in conservation: a critical review. **Molecular Ecology**, v. 3, n. 4, p. 401–411, 1994.

MORO, G.V., REZENDE, F., ALVES, A.L. et. al. Espécies de peixe para piscicultura. In: RODRIGUES, A.P.O. et al (Orgs.). **Piscicultura de água doce: multiplicando conhecimento**. 1ed. EMBRAPA, Cap. 1, p. 29-70. 2013.

MOYLE, P.; LEIDY, R. **Loss of biodiversity in aquatic ecosystems: evidence from fish faunas**. US: Springer US D, 1992.

MPA. **BOLETIM ESTATÍSTICO DA PESCA E AQUICULTURA 2011**. DF, 2011.

NELSON, J. **Fishes of the World**. In: J. Nelson (Ed.); *Fishes of the World*. John Wiley ed., p.539, 2006. USA.



PAULA, F. G. **Desempenho do tambaqui (*Colossoma macropomum*), da pirapitinga (*Piaractus brachypomum*), e do híbrido tambatinga (*C. macropomum* x *P. brachypomum*) mantidos em viveiros fertilizados na fase de engorda**, 2009. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2009. 57f.

PINHEIRO, M. H. P.; NOBREE, M. I. S.; PINHEIRO, F. A. Cultivo do híbrido tambaouí, *Colossoma macropomum* CUVIER, 1818, com a pirapitinga, *C. brachypomum* CUVIER, 1818, na densidade de 5.000 peixes/ha. **Ciências Agronômicas**. v. 22, p. 77–87, 1991.

PORTO-FORESTI, F.; FORESTI, F.; HASHIMOTO, D. Hibridação em piscicultura: monitoramento e perspectivas. **Espécies nativas para a piscicultura**, 2010.

PORTO-FORESTI, F.; HASHIMOTO, D. T.; ALVES, A. L.; et al. Cytogenetic markers as diagnoses in the identification of the hybrid between Piaçu (*Leporinus macrocephalus*) and Piapara (*Leporinus elongatus*). **Genetics and Molecular Biology**, v. 1, n. 31, p. 195–202, 2008.

PORTO-FORESTI, F. et al. Genetic markers for the identification of hybrids among catfish species of the family Pimelodidae. **Journal of Applied Ichthyology**, v. 29, n. 3, p. 643–647, 2013.

PURDOM, C. **Genetics and fish breeding**. New York: Chapman & Hall, 1993.

RAHMAN, M. A.; ARSHAD, A.; YUSOFF, F. The Potentials of Inter-specific Hybrids in Fin Fish Aquaculture. 2nd International Conference on Environment, Agriculture and Food Sciences. **Anais** p.135–138, 2013. Malaysia.

REIS, R.; KULLANDER, S.; FERRARIS, C. **Check list of the freshwater fishes of South and Central America**. EdIPUCRS, 2003.

RIBEIRO, C.M.; LEME DOS SANTOS, H.S.; BOLZAN, A.A.

Estudo comparativo da embriogênese de peixes ósseos (Pacu, *Piaractusmesopotamicus*; Tambaqui, *Colossomamacropomume* híbrido Tambaçu). **Revista Brasileira de Biologia**. São Carlos, v. 55, p. 65-78, 1995.

RIESEBERG, L.H.; WENDEL, J.F. A genomic view of introgression and hybrid speciation. **Current opinion in genetics & development**, v. 17, n. 6, p. 513–518, 1993.

RYMAN, N.; UTTER, F. **Population genetics and fishery management**. University of Washington Press, 1987.

SÃO PAULO, DECRETO No 60.582, DE 27 DE JUNHO DE 2014, 2014. Brasil, SP.

SALA, O.E. et al. Global biodiversity scenarios for the year 2100. **Science**, v. 287, p. 1770-1774, 2000.

SCHAEFER, S. A. Conflict and resolution: impact of new taxa on phylogenetic studies of the neotropical cascudinhos (Siluroidei: Loricariidae), p. 375–400 In: L. R. Malabarba, R. E. Reis, R. P. Vari, Z. M. S. Lucena, and C. A. S. Lucena, (eds.). **Phylogeny and Classification of Neotropical Fishes**. Edipucrs, Porto Alegre, Brazil. 1998.

SCHANK, S.C.; DIZ, D.A.; BATES, D.B.; THOMPSON, K.E. Genetic improvement of napiergrass and hybrids with pearl millet. **Biomass and Bioenergy**, v.5, p.35-40, 1993.

SCRIBNER, K. T.; PAGE, K. S.; BARTRON, M. L. Hybridization in freshwater fishes : a review of case studies and cytonuclear methods of biological inference. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, v. 10, p. 293–323, 2001.

SENANAN, W. et al. Genetic impacts of hybrid catfish farming (*Clarias macrocephalus* × *C. gariepinus*) on native catfish populations in central Thailand. **Aquaculture**, v. 235, n. 1-4, p. 167–184, 2004.

SENHORINI, J. et al. Larval and fry culture of pacu, *Piaractus mesopotamicus*, tambaqui, *Colossoma macropomum*, and their reciprocal hybrids. **Boletim Técnico do CEPTA**, 1988.

SHAFLAND, P.; LEWIS, W. Terminology associated with introduced organisms. Fisheries: **A bulletin of the American Fisheries Society**, v. 9, n. 4, p. 17–18, 1984.

SHELTON, W. L.; ROTHBARD, S. Exotic species in global aquaculture - a review. **The Israeli Journal of Aquaculture**, v. 58(1), n. January, p. 3–28, 2010.

SILVA-ACUÑA, A.; GUEVARA, M. Evaluation of two commercial diets on growth of the hibryd *Colossoma macropomum* x *Piaractus brachypomus*. **Zootecnia Tropical**, v. 20, n. 4, p. 459–449, 2002.

SOUSA-SANTOS, C.; COLLARES-PEREIRA, M. J.; ALMADA, V. Reading the history of a hybrid fish complex from its molecular record. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 45, n. 3, p. 981–96, 2007.

SOUZA, R. C. C. L. DE; CALAZANS, S. H.; SILVA, E. P. Impacto das espécies invasoras no ambiente aquático. **Ciência e Cultura**, v. 61, n. 1, p. 35–41, 2009.

TOLEDO-FILHO, S.; ALMEIDA-TOLEDO, L. Conservação genética de peixes em projetos de repovoamento de reservatórios. **Cadernos de Ictiogenética**, 1992.

TOLEDO-FILHO, S.; ALMEIDA-TOLEDO, L. Programas genéticos de seleção, hibridação e endocruzamento aplicados à piscicultura. **Cadernos de Ictiogenética**, 1998.

VÄRHÄ, J.; PRIMMER, C. Efficiency of model-based Bayesian methods for detecting hybrid individuals under different hybridization scenarios and with different numbers of loci. **Molecular Ecology**, v. 15, n. 1, p. 63–72, 2006.

VAINI, J.O.; GRISOLIA, A.B.; PRADO, F.D.; PORTO-FORESTI, F. Genetic identification of interspecific hybrid of Neotropical catfish species (*Pseudoplatystoma corruscans* vs. *Pseudoplatystoma reticulatum*) in rivers of Mato Grosso do Sul State, Brazil. **Neotropical Ichthyology**, v. 12, p. 635-641, 2014

VARI, R. P.; L. R. MALABARBA. Neotropical Ichthyology: An Overview. Pp. 1-11. In: Malabarba, L. R., R. E. Reis, R. P. Vari, Z. M. S. Lucena & C. A. S. Lucena (Eds.). **Phylogeny and Classification of Neotropical fishes**. Porto Alegre, Edipurcs. 1998

WILLIS, S. C. et al. Simultaneous delimitation of species and quantification of interspecific hybridization in Amazonian peacock cichlids (genus *Cichla*) using multi-locus data. **BMC Evolutionary Biology**, v. 12, n. 1, p. 96, 2012.

YAAKUB, S. M. et al. Hybridization in coral reef fishes: introgression and bi-directional gene exchange in *Thalassoma* (family Labridae). **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 40, n. 1, p. 84–100, 2006.









---

*Pesca e Aquicultura*

Ministério da  
**Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento**

